Ms 5096/15. Eötvös Loránd [illegible]
~~I–II.~~ egyetemi jegyzetei
I–V.

Physik I

Kirchhoff Vorlesungen üb. Experimental Physik

25ten Oct.

Was ist die Physik für eine Wissenschaft? Die relative und die absolute Bewegung. – Gleichförmige Bewegung. – Ungleichförmige Bewegung. – Trägheit. – Statik. Anwendung der Federwaagen zum Messen der Kräfte.

Ohne Definition zu geben will ich angeben welche Stellung die Physik in dem Gebäude menschlicher Kentniss einnimmt. – Eintheilung in geistige und in Naturwissenschaften. – Einige der Nat. wiss. beschäftigen sich mit abstracten Begriffen: Mathematik, Geometrie. – Andere beschäftigen sich mit den Dingen wie sie sind. – Zwischen diesen ist die erstere die Physik, wir können zwar sagen dass die Phys. sich mit der anorganischen Natur beschäftigt, wir können ihre Grenzen doch nicht scharf ziehen. Ihre Grenzen sind hauptsächlich durch ihre Methoden gezogen. – Die meisten Erscheinungen, welche wir physikalische nennen sind Bewegungen; so die räumliche Bewegung, dann auch der Schall, das Licht — Das Streben der Physiker ist übrigens die alle Erscheinungen auf Bewegungen zurückzuführen. – Die Lehre von den Bewegungen d. i. die Mechanik ist daher der wichtigste Theil der Physik. Wir fangen an mit der

Mechanik.

Ein Körper ruht wenn er in der Zeit die Lage zu andern Körpern nicht verändert, er bewegt sich wenn er diese Lage in der Zeit verändert. – Absolute Ruhe, relative Ruhe. – Die ~~Theile~~ Gegenstände auf einem bewegten Schiff sind in relativer Ruhe; wenn sie aber mit derselben Geschw. als das Schiff in entgegengesetzter Richtung als dieses ~~[illegible]~~ getragen werden so können ~~sie~~ sie in relativer Bewegung, aber absoluten Ruhe sein. –

Wir sind geneigt die relative ~~Ruhe~~ Bewegung als eine absolute anzusehen (Beispiel Eisenbahnwagen) – dies erklärt warum sich der Mensch so lange gestrebt hat das Copernicanische System an zu nehmen. –

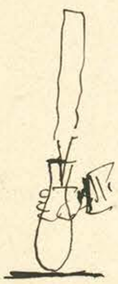
Nur Gewisse Reflexionen können uns zur Annahme desselben bewegen. –

Das Himmelsgewölbe erscheint uns als ~~eine~~ Hohlkugel gedreht um eine Axe, deren Endpunkt, der Polarstern, ruht. Die meisten Gestirne behalten dabei ihre ~~relative~~ gegenseitige Lage. – Nur manche zeigen eine eigene Bewegung. – Zu diesen gehört vor allen anderen der Mond, er bewegt sich nach Osten an der Himmelskugel. – Nach 4 Wochen finden wir ihn wieder in seine vorige Lage, d. i. in die Nähe derselben Fixsterne zurückgekehrt. – Eine ähnliche Bewegung zeigt auch die Sonne. – Man kann auch die Art seiner Bewegung finden. – Untersuchen wir nämlich die Sterne an einem Abend welche ~~früh nach~~ zuerst in der Abenddämmerung dem Horizonte nahe auftauchen, so bemerken wir dass die Sonne eine Bewegung nach denjenigen Fixsternen ausübt welche nach ihr untergehen. –

Ähnliche Bewegungen führen die Planeten aus. – Betrachten wir die Erde in Bewegung, so lassen sich all' diese scheinbaren Bewegungen auf

absolute Bewegungen zurückführen, und
~~ist~~ dies giebt uns, die Berechtigung diese anzunehmen.-
Die Grundanschauung des Copernicanischen
Systems ist nun die, dass die Fixsterne in Ruhe be-
griffen sind — die Planeten und die Erde sich um
die Sonne bewegen.-
Die Erde hat eine doppelte Bewegung die um ihre
Axe, und die um die Sonne; alle auf der Erde
befindlichen Körper führen ~~und~~ also eine complicirtere absolute
Bewegung.- Müssten wir also immer die abso-
lute Beweg. der Körper behandeln, so hätten
wir eine höchst schwere Aufgabe zu lösen. Wir können
aber diese absolut bewegten Körper, als rela-
tiv ruhend ansehen.-
Die einfachste Bewegung ist die gleichförmige.
Das Maass dieser Bewegung ist der in der Zeit-
einheit zurückgelegte Weg; sie ist vollkommen
charakterisirt durch die Geschwindigkeit.
Wir können von der Geschwindigkeit eines Kör-
pers sprechen, der nur ~~e~~ während eines ge-
ringen Bruchtheils einer Zeiteinheit bewegt ist.-
- Diese Bemerkung kann erklären, wie man
von der Geschw. eines ungleichförmig bewegten
Körpers sprechen kann. Beschleunigte, ver-
zögerte Bewegung.- (Beispiel: eine Kanonen-
kugel, in deren Laufe ist die Geschwindigkeit
eine beschleunigte, ausser derselben eine verzö-
gerte).-
Wenn ein Körper seine Lage ändert, oder

wenn sich seine Geschwindigkeit verändert, so muss eine Ursache da sein. – Eine solche Ursache nennen wir eine Kraft. – Die Eigenschaft der Körper in Folge dessen sie ohne Ursache in derselben Lage oder sich mit gleicher Geschwindigkeit bewegen verweilen, nennen wir Trägheit. – Ich kann sagen dass es die Folge ihrer Trägheit ist, wenn diese spitz zugefeilte Feile, in dieses Holzstück fest hineinklemmt, wenn ich dasselbe heftig auf den Tisch schlage. – (Beispiel mit dem im Wagen sitzenden). –



Ich will jetzt angeben, welcher Art diese Kräfte sind. – Lassen wir einen Körper los, so fällt er vertical mit beschleunigter Geschwindigkeit zu Boden. Die Ursache dieser Bewegung ist das Gewicht. Diese Kraft ist auch dann da wenn ein Körper in Bewegung ist – Stelle ich einen Gewicht auf den Tisch, oder halte ich es in der Hand so sehe ich dass ich einen Druck dieser Kraft entgegen ausüben muss. –

Wir haben hier einen Fall, dass sich zwei Kräfte in ihrer Wirkung aufheben d.i. sie halten sich das Gleichgewicht. – Wir werden uns zuerst mit der

Statik.

beschäftigen. –

Eine Kraft ist definirt erstens durch ihre Richtung d.i. der Richtung in welcher es den ruhenden Körper fortbewegt; und zweitens durch seine

Grösse. – Sollen sich zwei Kräfte die auf einen Körper wirken, aufheben, so müssen sie gleich gross aber entgegengesetzt gerichtet sein. – (Beispiel. Das Gew. eines in der Hand gehaltenen Körpers; dagegen muss Druck ausgeübt werden; – Der schwere Körper kann auch durch einen Faden, ~~oder~~ und durch eine Spirale im Gleichgewicht gehalten werden. – Die Spirale verlängert sich mehr oder ~~weniger~~ weniger je nach dem Gewichte des Körpers. – Solche Eigenschaften zeigen noch manche Körper; – Auf diese Eigenschaft ~~Solche~~ sind die Federwaagen gegründet. – Vermöge dieser werde ich zeigen können dass Kräfte verschiedenster Art verglichen werden können. –

Hier ist eine solche Federwaage einfacher Construction. – An dem Stabe s. ~~sind Thei~~ ist eine Eintheilung angebracht. Mit Hilfe dieser Vorrichtung kann ich offenbar mit einander Gewichte vergleichen. – Eine andere Art der Federwaage ist die Fig 2.

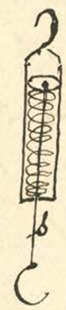


Fig 1.

FF Stahlfeder.
S Kreistheilung
z Zeiger.
A. Vorrichtung zur Übertragung der Formänderung der Feder FF auf die Bew. des Zeigers, abgebildet in Fig 3.

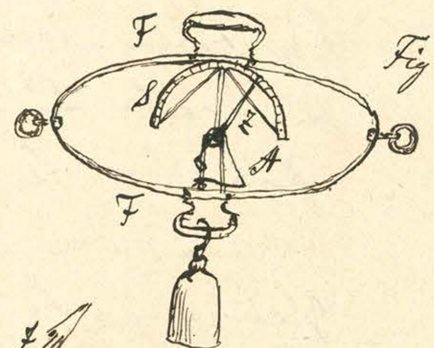


Fig 2.

z Zeiger fest an der Rolle r,
Um diese Rolle ist ein Faden SS gelegt. –
ff' eine in f an (F der Fig 2.) befestigte Stahlfeder.
t ein drehbarer Stift

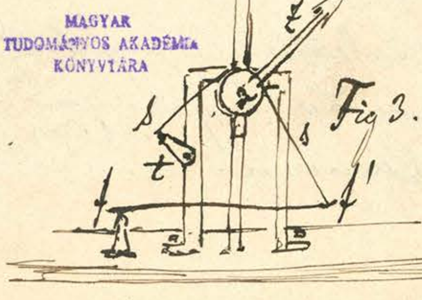


Fig 3.

26ten October. Von der Reibung – gleitende und rollende Reibung. Der Satz von dem Parallelogramm der Kräfte. – Gleitgewicht eines ~~ko~~ schweren Körpers auf der schiefen Ebene. –

Auf der Tafel: Reibung.

	bei Ruhe	bei Bewegung
Holz auf Holz (trocken)	50%	36%
— (mit Talg)	19	7
Metall auf Holz (trocken)	60	42
— (mit Talg)	12	8
Metall auf Metall (trocken)	18	18
— (mit Talg)	12	7

Sowie das Gewicht von 2 Pfunden einen Ausschlag auf der Federwaage hervorbringt, so wird ein solcher Ausschlag auch durch einen Zug mit der Hand hervorgebracht. Ein solches Inst. führt zur Kraftmessung der Menschen, dieselbe ist am grössten beim Heben eines Gewichtes zwischen den Füssen. – Rumford schaltete eine solche Waage zwischen Pferde und Wagen, und fand dass auf einer gepflasterten Strasse die Pferde einen etwa 3 mal so grossen Zug anwenden mussten ~~[illegible]~~ wenn sie im scharfen Trabe ~~zu gehen~~ liefen, als ~~an~~ wenn sie im Schritte ~~zu fahren~~. – Auf der Chaussée war es anders da war der Zug im Trabe, und im Schritt der gleiche. – So stellt sich auch heraus dass bei der Eisenbahn mit demselben Zug eine 15 mal grössere Last gezogen werden kann als auf einer Chaussée. – Dies gilt nat. nur bei horrontaler Bewegung. Bei einer solchen Bewegung ist also nicht das Gewicht des Körpers zu heben ~~überwinden~~, sondern die Reibung zu überwinden. –

Von der will ich jetzt sprechen –

Eine Folge der Reibung ist es, dass auf der Erde das Gesetz der Trägheit nie ~~nur~~ rein zur Geltung tritt. –

Auf der Tafel stehen Zahlen der Grösse dieser Reibung für den Fall ~~der~~ Bewegung eines Wagens. –

Auf diesem Schlitten stelle ich ein Gew. von ½ Pfund derselbe gelangt nur in Bew. wenn ich ein Gewicht von 2 Pfund als ziehend bei B anwende. –

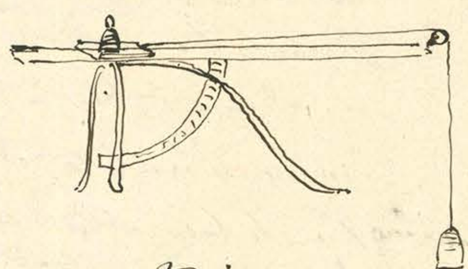


Fig 1.

B

So bestimmte Morell die Grösse der Reibung.

Es stellte sich heraus.

1) Dass die Reibung mit dem Gewichte der Körper direct proportional ist

2) dass die Grösse der sich berührenden Flächen von keinem Einfluss auf die Grösse der Reibung ist.

3) Dass die Grösse der Reibung hauptsächlich bedingt ist durch die Natur der beiden sich berührenden Körper. –

Auf der Tafel Zahlen nach Morell. –

Morell stellte auch Versuche darüber an, ob die ~~Grösse~~ Reibung abhängig ist von der Grösse der Geschwindigkeit. – ~~Die~~ Er fand dass dies nicht der Fall ist, und damit stimmen auch Rumfords Ver-

Suche auf der Chaussee überein. – Es ist aber die Reibung bei der Ruhe eine grössere als bei der Bewegung. – (Beispiel, welche Reibung hat ein auf einer Holzbahn bewegter Metallstab von 1000 ℔ zu überwinden? aus den Tafeln folgt dass diese bei der Ruhe 600 ℔, bei Bewegung 420 ℔ ist).

Wir besprachen bis jetzt nur eine Art der Reibung die gleitende Reibung, eine andere Art derselben ist die rollende Reibung. – Der Unterschied beider ist, dass bei der ersten sich dieselben Punkte eines Körpers stets mit neuen des anderen berühren, während bei der ~~ersten~~ zweiten neue Punkte des einen Körpers sich mit neuen Punkten des anderen berühren. –

Ich gebe diesem Glascylinder einen Stoss, er bewegt sich am Tisch einem Rade ähnlich vorwärts, so lang er noch läuft so müsste er weiter doch stehen bleiben in Folge der Rollenden Reibung. Diese ist

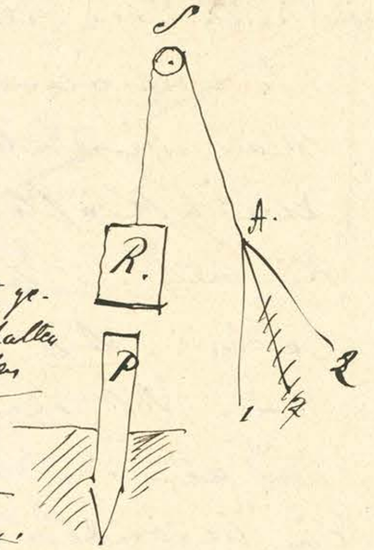
1) Proportional mit dem Gewichte des Körpers

2) sie ist ~~nun~~ so von der Grösse des Radius abhängig, und zwar um so kleiner je grösser der Radius ist. –

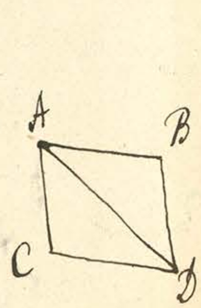
Durch diese Betrachtung der Reibung machten wir eine Abschweifung, kehren wir zum Gleichgewichte zurück. –

Es können sich nicht nur zwei, sondern auch

drei oder mehrere ~~Kräfte~~ Kräfte an einem Punkte
Gleichgewicht halten. – Ich will ein Beispiel
betrachten. –
Pfähle werden in Flussbetten durch eine ~~Ramme~~ Ramme
eingetrieben. Der Rammklotz
R wird durch die Arbeiter 1, 2, 3
aufgehoben, dann auf den Pfahl
P fallen. – Es fragt sich wie
gross muss die Kraftanstrengung
der einzelnen Arbeiter sein, wenn sie den Rammklotz gehoben halten wollen. – Arbeiter
Zwei Arbeiter so gelangen wir
zum Satze des Kräfteparallelogramms. –

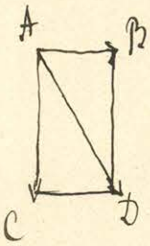


Alle mit einander quantitativ
vergleichbare Grössen können durch Linien
~~Längen~~ von passender Länge dargestellt werden. – Solche vergleichbare sind die Kräfte,
da wir ja sie alle ~~durch~~ die Federwage messen
können. – Wir müssen da eine Längeneinheit
für die Einheit der Kraft annehmen z. B.
ein Fuss für ein Pfund. – Bei den Kräften
können wir aber ausser ihrer Grösse auch noch
ihre Richtung durch Linien repräsentiren.
So ist eine Verticale Linie von einem ~~Fuss~~ Länge
der Repräsentant des Gewichtes von 1 Pfund. –
Aussprache des Satzes. – Denken wir uns auf
einen Punkt A zwei Kräfte wirken, welche
durch AC und AB ihrer Länge und Richtung nach
repräsentirt sind, so repräsentirt die Diagonale
AD die Resultante beider Kräfte. –



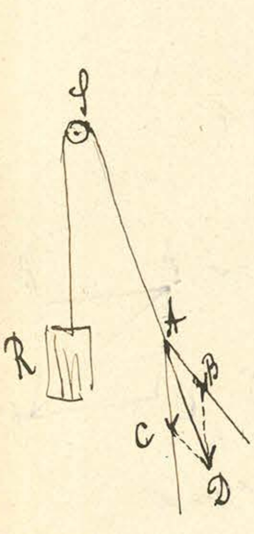
Ich werde nächstens kurzweg von Kräften AB, AC etc. sprechen. – Der Satz d. P. d. K. lehrt also wie man zwei Kräfte zusammensetzen kann. – Durch wiederholte Anwendung dieses Satzes werden wir auch drei und mehr Kräfte zu einer Resultante zusammensetzen können. –

Man wird aber ebensowohl auch eine Kraft in zwei Kräfte mit Hülfe dieses Satzes zerlegen können. – In der That wenn wir ~~zu~~ zu eine gerade <u>AD</u> ein Parallelogramm so zeichnen, dass AD seine Diagonale wird, so sehen wir dies ein. –



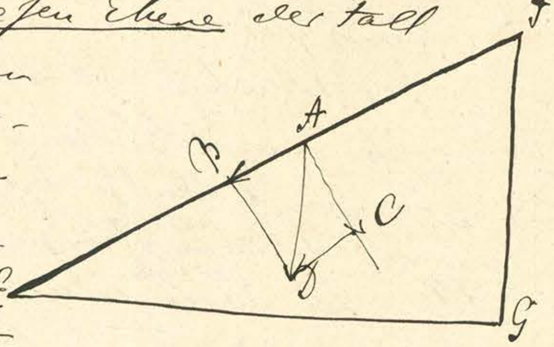
Ein besonders häufig vorkommender Fall ist der dass man ~~die~~ eine Kraft in zwei Componenten zu zerlegen hat, welche senkrecht aufeinander stehen. –

Der Ausdruck Componente einer Kraft nach einer gewissen Richtung, hat nur dadurch eine Bedeutung, dass dabei stillschweigend angenommen wird, dass die beiden Componenten senkrecht auf einander stehen. –



Wir wissen dass am Rammklotze in der verlängerten Richtung AS eine Kraft angewendet werden muss, welche dem Gewichte des Klotzes gleich ist, bei dieser Kraft = AD. – Mit Hülfe des Satzes sehen wir dann dass AC und AB die Kräfte sind welche die einzelnen Arbeiter anzuwenden haben. – Im Punkte A wirken dann 3 Kräfte

welche sich das Gleichgewicht halten können. –
Ich erwähnte dass auch zwei Kräfte sich Gleich-
gewicht halten können, wenn sich der Körper
nicht frei bewegt ~~kann~~. –
Dies ist auch bei der schiefen Ebene der Fall



Der Körper A soll mit dem
Gewichte AD anliegen. – AD zer-
lege ich in AB und in AC. –
AC wird durch den Wieder-
stand der ~~...~~ schiefen Ebene
aufgehoben. – Soll also A
in Gleichgewichte gehalten werden, so muss in
A eine dem AB gleiche aber entgegengesetzt ge-
richtete Kraft angebracht werden. –
Ich nenne EF die Länge FG die Höhe der
schiefen Ebene. Demnach ~~steht~~ Die Kraft welche ~~also~~ an-
gewandt werden muss um auf der schiefen Ebene
das Gleichgewicht zu ~~bilden~~ halten ~~steht~~ zum Gewichte
des Körper wie die Höhe der schiefen Ebene zu
~~ihrer~~ Länge. – Es ist

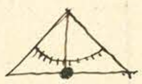
$$\triangle ABD \sim FGE$$

also $AB : AD = FG : EF$

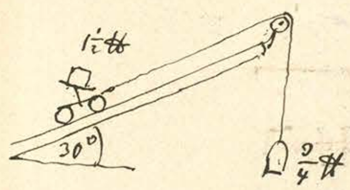
27ten October.

Experimenteller Nachweis des Gleichgewichtes auf der schiefen Ebene. – Schraube. – Mikrometerschrauben. Reibung bei der schiefen Ebene und der Schraube. – Gleichgewicht zweier Kräfte auf einem um eine Axe drehbaren Körper. –

Ich will jetzt die Richtigkeit des Gesetzes der schiefen Ebene experimentell nachweisen. — An dem bereits in der vorigen Vorlesung gebrauchten Apparat (Fig 1 [illegible]) werde ich es bewirken, dass die Höhe der schiefen Ebene gleich sei der Hälfte seiner Länge. — Der Winkel der schiefen Ebene muss dann = 30° sein. — Dass ich dem Schlitten wirklich diese Neigung gebe, kann ich mit Hülfe dieses ~~Winkels~~ kleinen Apparates nachweisen. —



Der schwere Körper den ich auf die schiefe Ebene setze sei dieser Wagen, dann ist die Reibung eine sehr kleine. — Ich wäge diesen Wagen, er beträgt 1½ Pfund. — An den Wagen befestige ich eine Schnur —



Nach den gestern durchgeführten theoretischen Betrachtungen muss ich 3/4 ℔ anhängen, um das Gleichgewicht zu halten. — Dies ist nun in der That der Fall. —

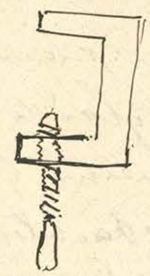
Auf der schiefen Ebene ist die zur Hebung eines Körpers angewendete Kraft immer kleiner als ihr Gewicht. — Ich kann also diese zur ~~Kraft~~ Lasthebung anwenden. —

Soll ich ein Gewicht um FG heben, so kann ich es direct auf dem Wege GF heben, oder auf EF. — In dem 2ten Falle ist die anzuwendende Kraft kleiner, aber der Weg grösser. — Und zwar ist die Kraft um so kleiner als der Weg grösser ist. — Man sagt

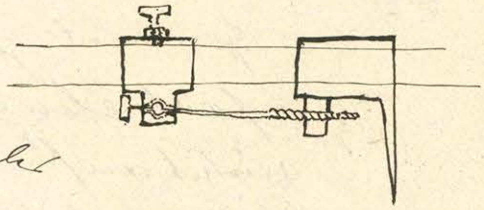
(I) „bei der schiefen Ebene gewinnt man an Kraft, was man an Geschwindigkeit verliert"

Wir werden noch andere Fälle von Maschinen finden, wo dieser Satz geltend ist. —

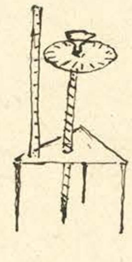
An die schiefe Ebene knüpft sich die Betrachtung
der Schraube.



Die Kraft die angewendet werden
muss ist hier auch hier um so kleiner,
je ~~grösser~~ kleiner der Abstand zweier
Windungen ist. – Auch hier gilt der
angegebene Satz (I), nur konnte man sie in anderer Form aussprechen.
Der Physiker gebraucht oft Schrauben; so nament-
lich die Mikrometerschraube – hier von will ich
beiläufig etwas erwähnen. –
Eine solche Mikrometerschraube ist angebracht
an diesem Stangenzirkel. –
Beschreibung des Stangenzirkels.



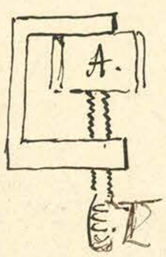
Auch in anderen Fällen wird die
Mikrometerschraube zur Messung sehr
kleiner Längen angewendet. –



Als Beispiel zeige ich ihnen diesen kleinen Apparat,
dessen Bestimmung ist, die Wölbung, Krümmung
von Glaslinsen, oder die Dicke von Glasplatten
zu bestimmen. – Was da die Bestimmung ~~an~~ be-
trifft ob die mittlere Schraubenspitze eben
gut eingestellt ist, so geschieht diese entweder
durch Spiegelbilder, oder dadurch dass man
die Stelle sucht, aus welcher die Weiterdrehung
der Platte, die Wackligkeit des Apparates zur Folge
hat. – Der Name dieses Apparates ist Sphä-
rometer. – (Beschreibung wie man das Sphäro-
meter zur Messung der Dicke von Platten, und
die Messung der Krümmung von Linsen benützen kann.)

Bei den Betrachtungen über schiefe Ebene und Schraube haben wir die Reibung ausser Acht gelassen. An meinem Schlitten (Fig / Seite [illegible]) müsste das Gewicht sogleich abgleiten, wenn es etwas geneigt ist, wenn keine Reibung wirksam wäre. – Die Beobachtung des Winkels, bei welchem der Körper abgleitet, kann eine Methode zur Messung der Reibung bieten. –

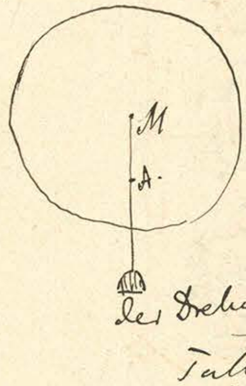
Fig. 1



Drücke ich mit der Schraube das Holzstück A, so wird auf dasselbe ein Druck ausgeübt, und diesem Drucke wird durch die Kraftanstrengung meiner Hand das Gleichgewicht gehalten. – Wenn ich meine Hand fortnehme, so springt die Schraube doch nicht auf – es ist dies die Folge der in diesem Falle sehr beträchtlichen Reibung. –

– Ein ~~weiterer~~ wichtiger Fall, in dem sich 2 Kräfte das Gleichgewicht halten können ist der Fall eines um eine Axe drehbaren Körpers. – Ich denke mir eine kreisförmige Scheibe drehbar ~~durch~~ um eine Axe welche durch den Mittelpunkt der Scheibe senkrecht auf dieselbe steht – Dieser Mittelpunkt sei M. Eine Kraft an dieser Scheibe wird nur dann das Gleichgewicht halten, wenn seine Richtung durch den Mittelpunkt M geht. – Es ist dies klar da ja nur in diesem Falle nach keinem Sinne der Drehung ein Überwiegen stattfindet. – Dass aber ~~in~~ in dem Falle dass die Kraft ~~wirklich~~ durch M geht, dann Gleichgewicht stattfindet können wir mit Hülfe folgenden wichtigen Principes nachweisen.

Fig 2.



Wenn ein System von Körper auf welches beliebige Kräfte wirken im Gleichgewicht ist, so bleibt das Gleichgewicht ~~ungestört~~ bestehen wenn die Beweglichkeit des Körpers beschränkt ~~verringert~~ wird. (II) Hiermit werde ich meine Behauptung beweisen. – Denke ich mir nämlich in dem Punkte M (Fig 2) auf einen Faden ein Gewicht aufgehängt, so wird derselbe zwar einen Zug auf die Axe, aber keine Drehung der Scheibe bewirken. – Die Scheibe ist also im Gleichgewicht und ich wende das Princip II an, indem ich die Beweglichkeit des Systems dadurch verändere dass ich den Faden im Punkte A befestige. – Da dann das Gleichgewicht ungestört bleibt so habe ich obiges Gesetz bewiesen. – Hieraus sehe ich ~~auch~~ dass ich den Angriffspunkt der Kraft in der Richtung derselben verlegen kann. –

Das Princip dass der Angriffspunkt in der Richtung der Kraft verlegt werden kann wird uns auch noch später nützlich sein. –
Es sollen in A und B (Fig 3) die ~~zwei~~ Kräfte A und B wirken. Verlängere ich die Kräfte so schneiden sie sich in C.+) – ~~Dann folgt aber mit Hülfe des Satzes des Kräfteparallelogramms~~ dass ~~die Kräfte dann im Gleichgewichte sind wenn deren Resultante durch den Mittelpunkt geht.~~ – Geometrische Relation

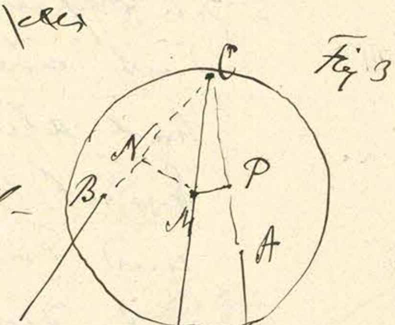


Fig 3

$NM \perp BC \quad . \quad MP \perp PC$

A B bezeichnen die Kräfte die in A und B wirken

$MN : MP = B : A$

Man nennt MN und MP die Entfernung der Kraft von dem Drehungsmittelpunkte. – Also ist

+) Ich weiss nun in Folge des soeben abgeleiteten, dass im Falle des Gl. G. die Resultante der Kräfte A und B durch M gehen muss. – Da ich aber auch das Pr. d. P. d. Kr. anwenden kann, so erhalte ich das Verhältniss B:A durch eine geometrische Construction. –

(II)

Die Gleichgewichtsbedingung ~~dass~~: Äußeren um eine Axe drehbaren Systeme.

(§) Die Kräfte sich verhalten umgekehrt wie ihre Entfernungen von dem Drehungsmittelpunkte.

Aus der Proportion folgt:

$$A \cdot MN = B\,MP$$

Also halten sich zwei Kräfte Gleichgewicht, wenn diese Produkte gleich sind. – Dieses Product nennt man das Drehungsmoment der Kraft. –

Irgend zwei Kräfte die an einem um eine Axe drehbaren Körper wirken, halten sich das Gleichgewicht, wenn ihre Drehungsmomente gleich sind. –

Ich hab vorausgesetzt der Körper habe die Gestalt einer Scheibe, da ich aber hiervon keinen Gebrauch gemacht habe, so kann ich hiervon absehen, meine Betrachtungen als allgemein geltend betrachten.

Ich definirte das Drehungsmoment als das Product einer Kraft mit einer Länge, ein Product hat aber nur durch Zahlen eine Bedeutung; Es ist hierbei vorausgesetzt dass ~~jede~~ Kraft und Entfernung durch eigene Einheiten gemessen ~~als~~ durch Zahlen dargestellt sind. – Das Product ~~ist~~ dann auch eine Zahl, und zwar bezieht sie sich auf eine besondere Einheit der Drehungsmomenten.

~~Diese~~ Eine Art der drehbaren Körper ist der Hebel. – Man unterscheidet gerade, und Winkelhebel, gleicharmige und ungleicharmige Hebel.

Apparate: Ein Loth aus Kupfer, wie es Maurer gebrauchen. – Schiefe Ebene mit veränderlichen Winkel und Schlitten Vorrichtung sammt Wagen. – Gewöhnliche Holzschraube. Stangenzirkel, Sphärometer.

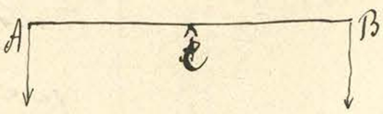
28ten Oct.

Gleichgewicht an dem Hebel – Rad an der Welle – Tretrad – Oberschlägiges Wasserrad – Reibung bei diesen Maschinen – Frictionsräder. Flaschenzug.

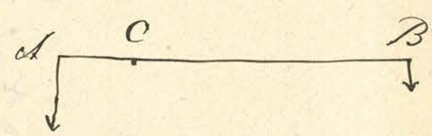
Ich werde jetzt Anwendungen des Satzes in Bezug auf das Gleichgewicht zweier Kräfte auf einen Körper, welcher um eine Axe drehbar ist, machen. – Ich erwähnte schon dass ein Fall ~~die~~ eines solchen der Hebel ist. –

Die einfachste Art des Hebels ist der geradlinige und gleicharmige; es mögen auf ~~denselben~~ ein solches auf die Arme verticale Kräfte wirken. –

Ich nenne die Kräfte A und B, dann ist die Bedingung des Gl.g. dass A = B sei. –

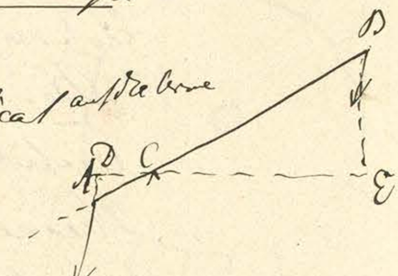


Ist der Hebel nicht gleicharmig, so können wir die Gl.g. Bedg. mit Hülfe des gestern abgeleiteten Satzes angeben – diese ist



$$A : B = BC : AC.$$

<u>Also verhalten sich beim Gleichgewicht die Kräfte umgekehrt wie die Hebelarme.</u>



Dies gilt allgemein ~~nur~~ nur dann wenn die Kräfte vertical auf die Arme wirken. – Ist dies nicht der Fall so giebt der gestrige Satz (G!):

$$A : B = DC : CE$$

Da aber $\Delta\, ADC \sim CBE$ so ist

$$DC : CE = BC : AC \quad \text{also}$$

$$A : B = BC : AC.$$

D. i. es gilt der Satz, dass sich die Kräfte dann das Gleichgewicht halten wenn sie sich umgekehrt verhalten wie die Hebelarme, für alle parallele Kräfte. –

Wir sehen dass auch beim Hebel eine Last gehoben können würde ~~können~~ durch ein kleineres Gewicht als die gehobene Last. –

Auch hier sehen wir die Gültigkeit des Satzes dass:

Die Wege sich umgekehrt verhalten wie die Kräfte welche sich das Gl. g. halten, also:

(I) auch hier verliert man an Geschwindigkeit, was man an Kraft gewinnt. –

Hebel finden im täglichen Leben eine ~~grosse~~ vielfache Anwendung. – So die Hebebalken Fig 1. –

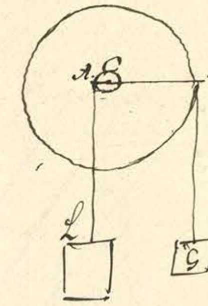
Fig 1

Auch die Ruder sind Hebel, hier arbeitet aber die Hand am kürzeren Arm, da hier eben eine Gewinnung von Bewegung d. i. Geschwindigkeit bezweckt wird. –

Scheere, Schlüssel, Handgriffe auf Bohrern, Schrauben etc.

Bei vielen Maschinen kommen Räder vor welche um eine Axe drehbar sind – auch bei deren kommt der Satz von dem Gl. vom H. auf einen um eine Axe drehbaren Körper, zur Geltung. –

Als Beispiele erwähne ich zuerst 1, das Rad



an der Welle, wovon hier ein kleines Modell steht. Nach dem Satze § muss im Gleichgewichtsfalle

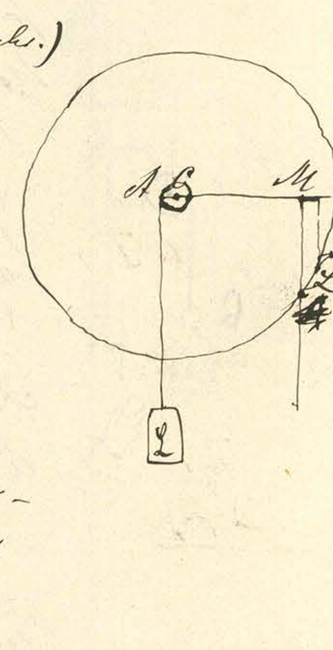
$$G : L = CA : CB \text{ sein.}$$

CA = Halbmesser der Welle, CB = Halbmesser des Rades

Satz: Beim Gleichgewichte an dem Rad an der Welle, verhält sich die gehobene Last zum hebenden Gewichte wie der Durchmesser des Rades zu dem Durchmesser der Welle.

Der Erfolg ist ganz der nämliche wenn statt G. die Arbeiter arbeiten. –

Ein anderes ~~[illegible]~~ Beispiel ist das Tretrad (Zeichn.)

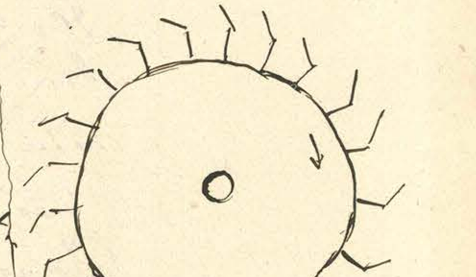


Es stehe im Punkte L ein Mensch mit dem Gewichte G. – Dann ist nach dem Satze §

$$L . AC = G . CM$$

Tritt der Mensch von L nach der Sprosse N, so ist nicht mehr Gleichgewicht, das Rad sinkt, und die Last wird gehoben. – Diesem Heben, wird durch Reibungswiderstände bald ein Ende gemacht, wenn der Mensch nicht wieder höher steigt. –

Auch im oberschlächtigen Wasserrad findet der Satz § eine Anwendung. –



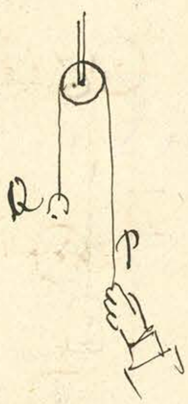
Wir sahen bei diesen Betrachtungen von der Reibung ab. – Eine solche findet statt an den Punkten wo die Welle aufgelegt ist. Diese ist eine Art der gleitenden Reibung. Um sie möglichst klein zu machen, wird man die Zapfen recht dünn machen. – Bei dem Kreisel findet eine Reibung nur an der Spitze statt, daher kreist auch derselbe so lange.

Figur: Frictionsräder.

Um die Reibung möglichst zu überwinden wendet man Frictionsräder an. – Beschreibung. – Die 4 Frictionsräder führen eine solche Bewegung aus, dass die Axen des Hauptlagers nur rollende Reibung erfahren; freilich ist da doch auch gleitende Reibung in den Axen der Frictionsräder im Spiel. –

Ein weiteres Beispiel ist die Rolle, so vielfältig angewendet in dem Flaschenzug. –

Nehmen wir an es wäre diese Rolle absolut ~~fr~~ leicht drehbar, und der Faden gewichtslos sein, – Dann ist Gleichgewicht wenn P und Q gleich sind, –



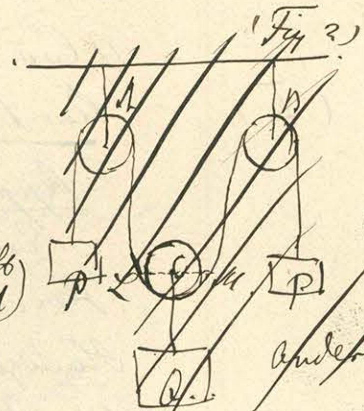
Das Gewicht P zieht den nächsten Punkt des Seiles mit P an, dieser den nächsten und so all die Punkte des Seiles, dasselbe thut auch Q, so dass in jedem Punkte des Seiles die beiden Kräfte P und Q sich gegenüber wirken und das Gleichgewicht halten. – Dieser Zustand des Seiles ist doch ein anderer als wenn an dem Seil gar keine Gewichte hängen – man nennt diesen Zustand Spannung des Seiles. –

Man ~~nennt~~ sagt es ist um P gespannt.

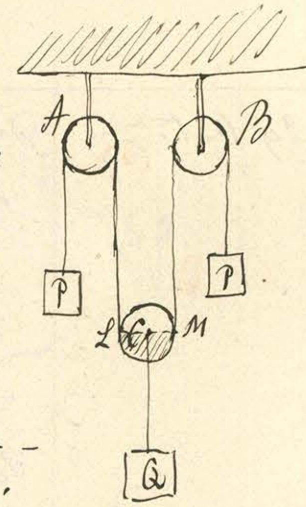
Dasselbe findet auch bei dem Flaschenzuge statt. – Hiervon und von dem ~~Satz~~ Prinzipe dass durch ~~Bewegung gegeben~~ Beschränkung der Beweglichkeit an dem Gleichgew. eines Systems nichts verändert wird, wollen wir eine Anwen-

dazu auf folgende Einrichtung machen. (Fig 2)
Nach diesem letzten Prinzipe folgt dass
in A und B, gleiche Kräfte P angebracht
werden müssen.+) Das Ganze Seil er-
hält also die Spannung P. –
Ich denke den Halbkreisförmigen Theil unterhalb LM
~~Theil~~ der beweglichen Rolle mit dem
Faden fest verbunden. – In Folge der Span-
nung sehe ich dann an dem L so wie als in M
P nach unten wirken muss also nun, dass
$Q = 2P$ sein. –
Nehme ich die Rolle A fort und befestige
das Seil oben, so bleibt die alte Gleichung
$Q = 2P$ giltig. – Hier habe ich eine solche
Einrichtung – ich hänge an Q 2 Pfund, an
P 1 Pfund an und wie sie sehen können es ist Gl. g. –
Hier verhalten sich Last und Gewicht wie
2 : 1 – wende ich aber mehr als 2 Rollen
an so kann ich die gehobene Last zu einem
beliebigen vielfachen des Gewichtes machen. –
Hier haben sie einen Flaschenzug an welchem
$Q : P = 6 : 1$

(Fig 2)



andere Fig. Zeichnen



Dies können sie durch folgende Betrachtung ein-
sehen. –
Es sind da 6 Fäden jeder mit P nach einer Rich-
tung gezogen also muss das Faden ~~[illegible]~~ 6 mal um P
entgegen gezogen werden –

+) Denn denkt man den Faden mit der einen festen Rolle z. B. mit A fest verbunden, so wird der Faden durch das Gew. P und P gespannt, d. i. er muss im Gleichgewichte auch in entgegengesetzter Richtung eine Kraft P üben.

22 Es fällt in die Augen dass hier die Wege von P viel grössere sind als die von Q – Also was man an Kraft gewinnt ver-

(I) liert man an Geschwindigkeit. –

Apparate.

Eine Rolle, ein einfaches, und ein dreifaches Flaschenzug auf einem Holzgestell. – Rohres mit Handgriff. – Modell eines Rades an der Welle aus weichem Holz, Rad etwa 1 Fuss Durchmesser. – Frictionsräder, zu der Atwoodschen Fallmaschine gehörig. –

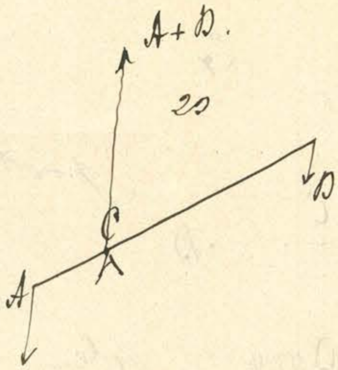
---

29. Oct. Das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten. – Zusammensetzen paralleler Kräfte. – Der Schwerpunkt. – Stabiles und labiles Gleichgewicht. – Bedingungen des stabilen Gleichgewichtes bei der Unterstützung der Körper unterhalb ihres Schwerpunktes. Experimentelle Bestimmung des Schwerpunktes. Waage. –

Wir sahen bis jetzt den Satz (I), beim Hebel, bei der schiefen Ebene etc. in verschiedenen Formen ausgesprochen. Der Satz gilt bei jeder Maschine. – Bei der Anwendung dieses Satzes muss man einzig diejenige Bewegung des Angriffspunktes betrachten, welche in der Richtung der Kraft geschieht. Dieser Satz lässt sich auf beliebig viele Kräfte und auf ein beliebiges System erweitern; und ist als solcher die Grundlage der ganzen Statik. – Nämlich das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten. –

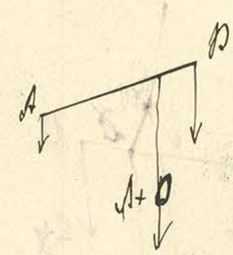
Ich will jetzt das Gleichgewicht zweier paralleler Kräfte auf einen geraden Hebel weiter untersuchen. –

Gleichgew.-Bedg.



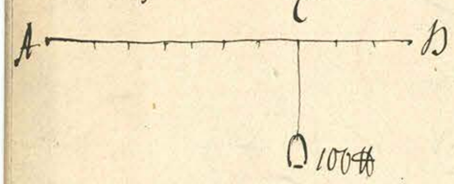
$A : B = BC : AC$

Hierbei muss der Punkt C unterstützt werden. – Die Wirkung des Hebels auf den Punkt C ist ein Druck. –
Die Kraft welche diesem Druck nach unten Gleichgewicht halten soll, muss entgegengesetzt gerichtet und gleich der Summe A + B sein. –
Dieser auf C nach oben wirkenden Kraft kann ich aber auch durch eine Kraft das Gleichgewicht halten welche ihr gleich nach unten wirkt. – Somit haben wir eine Kraft gefunden welche dieselbe Wirkung als die zwei Kräfte A und B zusammen ausüben. –



Somit kommen wir zu einem Satze zur Zusammensetzung zweier Kräfte, dessen Hauptunterschied von dem Satze d. P. d. K. der ist, dass hier zwei gleichgerichtete, und in zwei Angriffspunkten wirkende Kräfte zusammengesetzt werden, während der Satz v. P. d. Kr. sich auf die Zusammensetzung zweier Kräfte bezog, welche in einem Punkte angreifend, einen Winkel miteinander bildeten. –
Auch nach diesem Satze werden wir eine Kraft in zwei Kräfte zerlegen können, die dann von dem der ersten verschiedene Angriffspunkte haben wird. – Denken wir uns eine Stange AB, auf welcher in C ein Gewicht von 100 ℔ aufgehängt ist. – Es fragt sich nun, wenn diese Stange samt Gewicht von 2 Menschen getragen wird wie viel jeder zu tragen hat. – Nach der Pro-

Fig



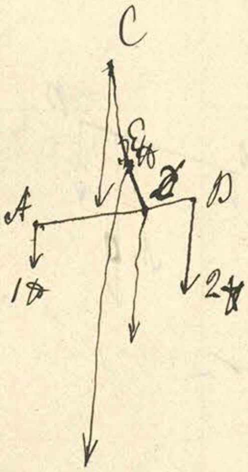
portion

$$A : B = BC : AC$$

können wir dies beantworten. –

Wenn $BC : AC = 3 : 7$ so hat der eine Mensch bei A 30 Pfund der andere bei B 70℔ zu tragen. –

So wie wir den Satz d. P. d. K. auf mehrere als 2 Kräfte anwendeten, so thun wir es auch hier. –



Es sollen in drei fest verbundenen Punkten ABC Gewichte aufgehängt sein, und zwar sollen diese 1℔, 2℔, resp. 3℔ sein. – Verbinde ich A und B mit einer festen Geraden, so ist die Wirkung von A und B zusammen gleich dem Gewichte 3℔ aufgehängt in D so dass BD = 1 [illegible] = 2. – Verbinde ich jetzt C und D so sehe ich dass sich die Kräfte C und D in die Kraft 6℔ zusammensetzen kann, wirkend in E – wo $CE = ED$. –

Einen Fall paralleler Kräfte haben wir in jedem schweren Körper. – Trotzdem dass die Anzahl der einzelnen Kräfte unendlich gross ist, so wissen wir doch dass sie eine Resultante haben muss, welche gleich ist der Summe der Gewichte der einzelnen Theilchen d. i. gleich dem Gewichte des Körpers. – Die Richtung des Gewichtes ist vertical; ihr Angriffspunkt ist der Schwerpunkt. – Die Lage des Schwerpunkts ist durch die Gestalt des Körpers bedingt. – Es leuchtet ein dass der Schwerpunkt einer Kugel, so wie überhaupt jeder ~~Körper~~ Gestalt welche einen Mittelpunkt hat, der Mittelpunkt selbst ist. – So ist der Mittelpunkt zugleich der Schwerpunkt in einem rechtwinkligen Parallelepipedon, in einem Ringe. – Der Körper wirkt nun derartig als ob wenn nur sein Schwerpunkt ein Gewicht hätte. – Befestigt man also den Schwerpunkt eines Körpers so wird er in jeder Lage im Gleichgewicht sein. – Befestigt man einen andern Punkt eines Körpers als der Schwerpunkt, so wird derselbe nicht in allen Lagen sondern nur dann im Gleichgewichte sein wenn der Unterstützungspunkt vertical ober oder unter dem Schwerpunkte liegt. – Stellen wir eine Kugel auf eine Spitze so wird die geringste Drehung ein Abfallen derselben bewirken. Fig 1. – Den Gleichgewichtsfall wenn der Körper vertical unter dem ~~Unterstützungspunkt~~ Schwerpunkt unterstützt ist nennt man labiles Gleichgewicht. Fig 1. – Wenn der Unterstützungspunkt senkrecht über dem Schwerpunkt liegt so ist sein Gleichgewicht stabil. Fig 2. – Soll ein Körper durch Unterstützung unterhalb des Schwerpunkt im

Fig. 1

Fig 2.

26

Stabiles Gleichgewicht gebracht werden, so muss es in wenigstens drei Punkten befestigt werden. –

Soll aber durch drei unterstützungs Punkte ein Stabiles Gleichgewicht ~~erlz~~ hervorgebracht werden, so muss die verticale Linie welche durch den Schwerpunkt des Systems geht die Fläche des Dreiecks ~~durch~~ ~~oder~~ schneiden dessen Eckpunkte die Unterstützungspunkte des Körpers sind. –

Ist der Körper in mehr als 3 Punkten unterstützt, so wird derselbe dann in stabilem Gleichgewichte sein, wenn die durch seinen Schwerpunkt gezogene verticale, die Fläche des grössten zwischen den Unterstützungspunkten gezogenen Polygons schneidet. –

Wenn nun der Körper ~~durch~~ in einer Fläche unterstützt ist, so ist Gleichgewicht nur dann da wenn die verticale durch den Schwerpunkt gezogene ~~Gerade~~ die Unterstützungsfläche trifft. –

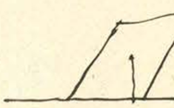


Fig 1.

Dieser kürzere Holzcylinder Fig1 ist auf jene Platte gelegt in Gleichgewicht, dieser längere Fig2 kippt aber um.


Fig 2.

Bei einem irgend wie bedingten Systeme wird Gleichgewicht nur dann stattfinden, wenn der Schwerpunkt desselben, den tiefsten Ort eingenommen hat, den er dem vorhandenen Bedingungen gemäss einnehmen kann.

Betrachten wir diese Metallkugel, welche,

auf einen Faden aufgehängt ist; es
ist Gleichgewicht dann da, wenn der Fa-
den vertical ist, und wenn der Schwer-
punkt in der Verlängerung des Fadens liegt. –
Drehe ich die Kugel ohne den Faden, so
wird der Schwerpunkt aus dem tiefsten Ort
herausgebracht er beschreibt einen Kreis-
bogen, um das untere Ende des Fadens; –
bringe ich die Kugel sammt Faden aus
der Gleichgewichtslage so beschreibt der
Schwerpunkt auch einen Kreisbogen und
zwar um das obere Ende des Fadens als
Mittelpunkt. – Die tiefste Lage ist also wirk-
lich die Gleichgewichtslage. –
So ein Instrument nennt man ein Loth.
Diese Erfahrung giebt eine Methode zur ex-
perimentellen Bestimmung des Schwerpunktes.
Hier haben sie diesen nicht homogenen Ring;
Ich hänge ihn zuerst an diesem, dann
an jenem anderen Punkte auf, verlängern
sie in beiden Fällen die Richtung des Fadens
so erhalten sie einen Schnittpunkt, welcher
der Schwerpunkt ist. –
Der Satz gilt auch in Bezug auf ein System
von Körpern – Hänge ich diese Kette auf
so nimmt es eine Gestalt an, welche da-
durch characterisiert ist, ~~dass dadurch~~

Tafel.

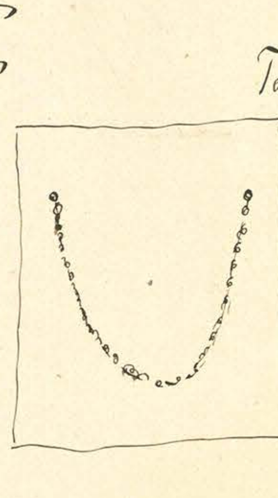


Fig.

28

dass bei ihr der gemeinsame Schwerpunkt aller Kettenglieder am tiefsten liegt. In diese Lage kehren die Kettenglieder zurück wenn ich sie aus derselben heraus bringe.

Ebenso sehen wir dass Flüssigkeiten immer horizontal abgegrenzt sind, es lässt sich nachweisen dass bei dieser Lagerung der Wassertheilchen, ~~der~~ der gemeinsame Schwerpunkt am tiefsten liegt. –

Bevor als ich auf die Mechanik übergehe, will ich sie mit der Waage bekannt machen. – Dieselbe dient zum Messen von Gewichten – und ist viel zweckmässiger zu diesem Zwecke als die Federwaagen. – (Beschreibung der gleicharmigen Waage, erklärt durch Vorzeigen einer chemischen Waage) –

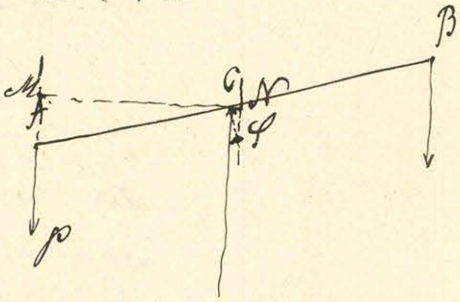

16.

Apparate: Zwei schiefe Holzcylinder – Ein Loth mit Metallner Kugel – Eine Messingkette. – Ein Ring dessen grössere Theil aus Holz, kleiner aus Blei besteht (Fig). Eine chemische Waage. –

30ten October. Empfindlichkeit der Waage, Borda's Methode. – Von dem metrischen Maassysteme. –

Die erste Beding. einer guten Waage ist ihre Richtigkeit
Prüfung der Waage in Bezug auf ihre Richtigkeit –
Die zweite Bedg. ist die Empfindlichkeit. – Je grösser der Ausschlag ist der einem gewissen Übergewichte zukommt, um so empfindlicher ist die Waage. – Von einer guten Waage wird nach

verlangt dann die Grösse dieses Ausschlags, unabhängig sei von der Belastung der Schalen, und nur von dem Übergewichte abhängig. –
Es wird dies der Fall sein, wenn die 3 Schneiden in einer geraden liegen. denn diese A, B und C. –
Die parallelen Kräfte A und B lassen sich zu einer Resultante vereinigen – Es sei der Schwerpunkt des Wagebalkens S –
Dann sehen wir dass der Wagebalken für sich ~~nur eine~~ die Lage der Figur nicht einnehmen ~~kann~~, da sein Schwerpunkt dabei nicht am tiefsten liegt. –



Ich nenne p das Übergewicht welches den Ausschlag bewirkt. – ~~Es Belastung der Ü...~~ sei das Gewicht des Wagebalkens P.
Das Drehungsmoment des Übergewichtes ist nun $= p.CM$.
Das Drehungsmoment des Wagebalkens P ist aber $= P.CN$
Diese müssen sich das Gleichgewicht halten also:

$$p.CM = P.CN$$

$$p = P.\frac{CN}{CM}$$

Hieraus sehen wir dass die Empfindlichkeit unabhängig ist von der Belastung. –
Die Empfindlichkeit ist
1) umgekehrt Proportional mit dem Gewichte des Wagebalkens.

30

2) Je kleiner der Abstand des Schwerpunktes der Waage von dem ~~Aufhänge~~ Drehpunkte derselben ist, um so grösser ist die Empfindlichkeit der Waage. –

Da eine Waage um so mühsamer im Gebrauche ist, als sie empfindlicher ist; so ist an feinen Waagen eine Einrichtung da vermöge welcher die Empfindlichkeit nach belieben regulirt werden kann. –

Einrichtung zum Messen kleinerer Gewichte als 1 Centigramm. –

Borda benützte eine Methode der Wägung ~~bei~~ welche unabhängig ist von der Richtigkeit der Waage. – Diese Methode. –

Bemerkungen über die Gewichtseinheit. –

Gramm – worauf beruht dieselbe. –

Die Nothwendigkeit ~~Einführung~~ einer Längeneinheit machte sich in 1735 fühlbar, und in dieser Zeit sandte die Pariser Akademie zwei Expeditionen aus, deren Aufgabe es war die Gestalt der Erde zu ~~best~~ bestimmen. – Ähnliche Messungen wurden schon früher in Frankreich selbst ausgeführt, aber mit schlechten Resultaten da verschieden Längeneinheiten dabei benützt wurden. – In 1834 verfertigte man zwei gleiche Toisen, die eine gieng mit La Condamine nach Peru die andere mit Maupertuis nach Schweden. –

Der Toise de Pérou ist die Grundlage des alten französischen Maass systems. –
Zur Zeit der französischen Revolution entstand eine Revolution im Maassysteme. – Man hat festgesetzt.

$$\frac{5130740 \text{ Toise de Péru}}{10 \text{ Mill.}} = 1 \text{ Meter} = \frac{\text{Länge ein Erdquadranten vom Aequator zu den Polen}}{10 \text{ Million}}$$

$$1^{\text{meter}} = 443,296 \text{ Par. Lin. (Peru)}$$

Gewichtseinheit. – Einheit für das Geld. –
Dies Maass ist fast allgemein angenommen, trotzdem dass ihre Basis nicht strenge richtig ist. – Bei der Gradmessung worauf der Maasstab des Meters basirt werde, gieng man einen Fehler von 565 meter, so dass die Länge des Erdquadranten = (10 mill. + 565) meter.
Apparate: chemische Waage.

Beschleunigte Bewegung. – Der freie Fall der Körper. Nov. 2.
Methoden eine gleichförmig beschleunigte Bewegung mit geringerer Beschleunigung, als es die Schwerkraft ist hervorzubringen.

Wir beschäftigen uns von nun an mit der Dynamik, d. i. mit den Bewegungen welche Kräfte hervorrufen die nicht in Gleichgewicht sind. – Wenn eine Kraft zu wirken aufhört so bringt sie eine gleichförmige Geschwindigkeit hervor. – Wenn dagegen eine Kraft gleichförmig ist, so wird sie stets eine gleichförmige Vergrösserung der Geschwindigkeit hervorrufen. – Diese Vergrösserung der Geschw.

in der Zeiteinheit d. i. in einer Secunde
nennt man Beschleunigung. – Gleichförmig wirkende Kräfte bringen gleichförmige Beschleunigung hervor. – Eine gleichförmige Kraft ist das Gewicht eines Körpers. – Ein fallender Körper bewegt sich mit beschleunigter Bewegung; seine Geschwindigkeit ist also proportional mit der Strecke die er zurückgelegt hat. –

Es hatte ~~man~~ ein fallender Körper

Zur Zeit $\overset{t}{0}$ Sec. die Geschwindigkeit	$\overset{v}{0}$	Fuss
" 1 " " "	30	"
dann muss Zur Zeit 2 " " "	60	"
" 3 " " "	90	"

sein. –

Wir werden aber auch die Geschwindigkeiten in Zeiten angeben können welche zwischen den aufgeschriebenen Intervallen liegen. –

Zur Zeit $\frac{1}{2}$ ist die Geschw.	15
$1\frac{1}{2}$ "	45
$2\frac{1}{2}$ " "	75

Wir werden auch angeben können wie ~~viel~~ gross die mittlere Geschwindigkeit des fallenden Körpers in jeder ~~Minute~~ Secunde gewesen ist. d. i. um wie viel er in der Secunde gefallen ist. – Theilen wir ein Interval von einer Secunde in zwei gleiche Theile, so weichen die Geschw. in einer Hälfte um ebensoviel von der Geschw. in der Mitte nach einer Seite ab, als die Geschw. der anderen Hälfte von dieser nach dem anderen hin neab-weichen. – Die mittlere Geschwindigkeit in einer Secunde ist demnach die Geschwindigkeit in der Mitte der Secunde.

		Fallraum
Die mittlere Geschwindigkeit also d. i. der Fallraum in der	1^{ten} Sec. ist	15
	2^{ten} "	60
	3^{ten} "	135
	etc.	

Diese Schlüsse können experimentell dadurch nachgewiesen werden, dass die gewissen Fallräumen entsprechenden Zeiten gemessen werden. Wir werden sehen in diesem diese mit anderen Schlüssen übereinstimmen. – Die Tabelle zeigt nun dass

$$\underbrace{v = 30 . t}$$

Wir sehen

s

$0 = 0.0.15$

$15 = 1.1.15$

$60 = 2.2.15$

$135 = 3.3.15$

Also ist

$$\underbrace{s = 15 . t^2}$$

<u>Beispiel</u> v. und s in einer Minute.

$s = 5400'$ $\quad v = 1800$

In Wirklichkeit sind diese Fallräume und Fallzeiten viel geringer, und zwar in Folge des grossen Luftwiderstandes. – Aber diese Zahlen würden auch in dem luftleeren Raum keine vollkommene strenge Berichtigung haben denn es ist die Geschw. nach Ende einer Secunde nicht genau 30'. – Nennt die Geschwindigkeit am Ende einer Secunde g so ist

$$v = g . t$$

$$s = \frac{g}{2} t^2$$

oder $$s = \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2}{g^2} = \frac{v^2}{2g}$$

ferner ist: $$v = \sqrt{2gs}$$

Denken wir uns dass man zwei gleichartige aber verschieden grosse Steine gleichzeitig fallen lässt – sie werden gleichzeitig auf den Boden fallen d. i. – sie durchlaufen in derselben Zeit denselben Fallraum – sie haben in jedem Momente dieselbe Geschwindigkeit, also auch dieselbe Beschleunigung. – Auf den ersten Anblick würde man einen andern Schluss ziehen, nämlich den dass der grössere Stein, auf welchem eine grössere Kraft zu wirken scheint in Folge ihres grösseren Gewichtes, rascher fallen müsse. – Dass dies nicht geschieht ist die Folge dessen dann die Beschleunigung bedingt ist nur durch das Verhältniss der grösse der Kraft zu die Masse des Körpers. – Hieraus folgt auch der Satz dass alle Körper gleich schnell fallen. – ~~bei irgend zwei Körpern ist~~ Das Verhältniss des Gewichtes eines Körpers zu seiner Masse ist natürlich bei allen Körpern dasselbe. – Es ist nun

$$\text{Beschl.} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}$$

Dies kann auch als Definition der Kraft dienen. – Man sieht daraus dass die grösse einer Kraft gleich ist der Beschleunigung welche er einem Körper ertheilt, multiplicirt mit der Masse desselben. –

Beispiel. Die Körper in der Nähe des Mondes werden von demselben angezogen. – Würden wir das Gewicht eines Körpers auf der Erde durch eine Federwaage ~~gemessen~~ = 4 Pfund finden; so würden wir dieses auf dem Monde = 1 Pfund finden. – Die Masse ~~ist~~ des Körpers ist dabei nicht verändert worden. – Auf dem Monde würde der Körper ~~auch fallen nur~~ auch mit gleichförmig beschleunigter Geschwindigkeit zu Boden sinken, nur würde da seine Geschwindigkeit am Ende der ersten Secunde gleich $7\frac{1}{2}$ Fuss sein, und der Fallraum in der ersten Secunde gleich $3\frac{3}{4}$ Fuss sein.

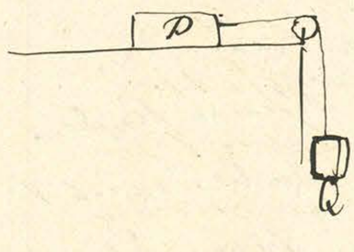
Wir können einen ähnlichen Fall, wo also ein Körper eine beschleunigte Bewegung infolge einer geringeren bewegenden Kraft ausführen hat, leicht in unserem Labor. herstellen. –
Denken wir uns nämlich eine schiefe Ebene, auf das ein Körper herabfällt. – Die Componente welche das herabsinken bewirkt ist eine gleichförmige Kraft, nur ist die Beschleunigung eine geringere.

In diesen beiden Beispielen verglichen wir Wirkungen, welche verschieden grosse gleichförmige Kräfte auf dieselbe Masse ausüben – und fanden dabei die Behauptung

$$\text{Beschl.} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}$$

gerechtfertigt. –

Ich will jetzt dieselbe Kraft auf verschieden grosse Massen wirken lassen. –



Die Geschw. mit welcher Q sinkt und P sich horizontal vorwärts bewegt sind dieselben. – Würde Q allein fallen so würde die Beschl. = 30' zur Wirkung treten ~~eintreten~~. – Es ~~ist~~ muss aber bei diesem Sinken eine grössere Masse bewegt werden ~~eine grössere~~.

Da die Massen sich verhalten wie die Gewichte, so ist die hier stattfindende Beschleunigung $= g \cdot \dfrac{Q}{Q+P}$

Es wird die Bewegung auch hier eine gleich- 17.
förmig beschleunigte sein. – Dies könnte noch
Bedenken erregen, da wir nicht eine Masse
P+Q sondern zwei getrennte Massen haben;
darin aber dass beide immer dieselbe Ge-
schwindigkeit haben liegt die Berechtigung
der Annahme dass sie einen Körper bilden. –
In der Wirklichkeit würde man eine ganz
andere Beschleunigung finden als diese theo-
retische. – ~~Morell bestimmte sog~~ Der Grund
davon ist dass wir von der Reibung ab-
sahen. – Ist R die Reibung so ist die be-
wegende Kraft $= Q - R$
Morell untersuchte nun ob die bewegende Kraft $Q - R$ eine gleichförmige ist oder nicht;
Er fand dass diese bewegende Kraft gleich
gross ist, bei allen Geschwindigkeiten. –
Da aber Q bei allen Geschw. dieselbe ist
so folgerte er, dass auch R bei allen
Geschwindigkeiten dieselbe ist. – Hatte
nun Morell die Beschleunigung beobachtet so
konnte er auch die Grösse der Reibung be-
rechnen. – Auf diese Weise fand er die Zahlen
die ich schon in meinem 2ten Vort. angab. –
Eine ähnliche Einrichtung ist die Atwood-
sche Fallmaschine, sie kann dazu dienen eine
Vorstellung der gleichförmig beschleunigten Be-
wegung zu fixiren –
Apparate: Atwood-s Fallmaschine. –

3 Nov. Versuche mit Atwood's Fallmaschine. – Von der Wurfbewegung. – Geschwindigkeit der horizontalen Bewegung eines Körpers, der nicht zu Erden fallen müßte. – Beschleunigung mit welcher der Mond gegen den Erdmittelpunkt sinkt.

Ich richtete nun ~~bei~~ meine Maschine ~~so~~ ein, daß das Übergewicht eine Geschwindigkeit von 1 Zoll in einer Secunde hervorrufe. – Ist die Beweg. eine gleichm. beschl. so wird demnach das Gewicht in 2 Secunden um 4 Zoll sinken. – Hier steht ein Pendel dessen Schwingungsdauer genau eine Secunde ist. – Ich setze das Pendel in Bewegung Null – null – null – jetzt lasse ich die Klemme öffnen das Gewicht sinkt. Ich zähle die Schläge des Pendels, stelle eine Platte zur Tiefe von 4 Zoll – Null – null – null – Eins – Zwei das Gewicht schlägt auf. –

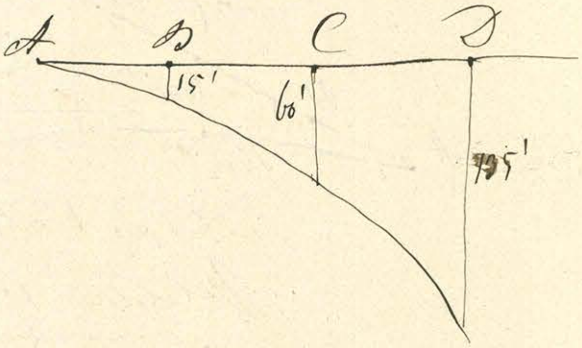
Jetzt lege ich die Blechplatte zu 16 Zoll – Null – Null null (los) eins – zwei – drei – vier, das Gewicht klopft. –

Platte auf 64 Zoll – Null – Null null (los) – ein – zwei – drei – vier – 5 – 6 – 7 – 8.

Also zeigte ich daß der durchfallene Raum dem Quadrate der Fallzeit proportional ist. – Die Beweg. ist also in der That eine gleichförmig beschleunigte. –

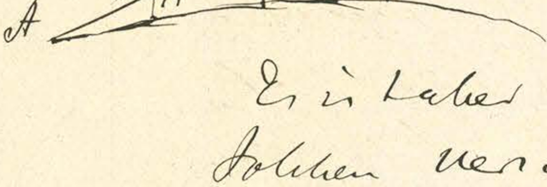
Wir können nun auf die Bewegung eines ~~frei~~ gebei welcher auch die Schwerkraft wirksam ist

~~fallenden~~ schleuderten Körper übergehen. — Wird ein Körper vertical hinaufgeschleudert so wird seine Geschwindigkeit — in Folge der gleichmässig wirkenden Schwerkraft allmählig kleiner und kleiner werden — Es wird ein Punkt eintreten wo er demnach die höchst mögliche ~~Stellung~~ Höhe, und da die Ruhe erlangt hat. —
Die Zeit die ~~ein~~ ~~Körper~~ ein Körper braucht um bis zu einer gewissen Höhe hinaufgeschleudert zu werden, ist gleich der Zeit die er braucht um von dieser Höhe herabzufallen. —
Auch die Bewegung eines horizontal oder schräg geschleuderten Körpers können wir theoretisch verfolgen. — Es möge der Körper von A in horizontaler Richtung mit ~~der~~ einer Geschwindigkeit fortgeschleudert werden, mit welcher der Körper nach einer Secunde in B angelangt wäre. — In Folge der Kr. mit welcher er fortgeschleudert werde, wäre dann der Körper nach 2 Secunden in B, nach 3 Secunden in C etc. Während dieser Zeit bewegt sich aber der Körper auch in Folge der Schwerkraft, und muss in einer Secunde um 15', in zwei Secunden um 60', ~~nach~~ in 3 Secunden um 135' gesunken sein. —



Auf diese Weise beschreibt der fallende Körper eine Parabel. – Wir haben hier beide Bewegungen einfach zusammengesetzt. Die Richtigkeit dieses Princips wird klar wenn wir einen Körper ~~von~~ auf einem Schiffe von dem Maste herabfallen lassen – der Körper wird da am Fusse des Mastes herabfallen – die horizontale Bewegung des Schiffes und die verticale des fallenden Körpers bestehen also ~~so~~ nebeneinander ohne sich zu beeinflussen. –

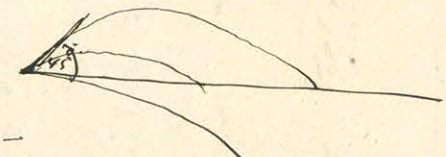
Nun können wir den Schrägen Wurf betrachten. –



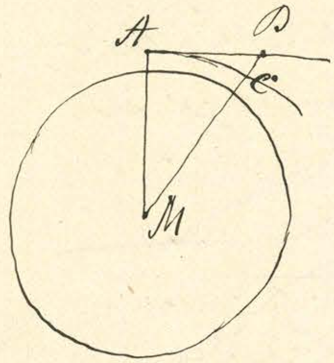
Daß wir hier auch das Princip anwenden können müssten wir ~~auf~~ an einem einen schief aufsteigenden Körper den Versuch anstellen. Also etwa in einem Luftballon. –

Es ist aber gar nicht nothwendig einen solchen Versuch auszuführen. – In solcher Lage ~~ist ja ein jeder Mensch~~ sind wir ~~alle~~ ja selbst auf der Erde. – Die Bewegungsgeschwindigkeit der Erde ist zu verschiedenen Jahreszeiten verschieden – die herabfallenden Körper fallen aber immer auf dieselben Stellen derselben,

Also nun der verticale Fall wirklich von der Bewegungsrichtung unabhängig. –
Betrachten wir die Bahn eines Körpers welcher immer mit gleicher Geschwindigkeit, aber nach verschiedenen Richtungen geworfen wird. –
Der Wurf sei horizontal. –



Der Wurf schräg, Wurfweite. –
Die Wurfweite ist die grösste bei dem schrägen Wurf von 45° Grad. Dies wird in der Figur klar. –
Jede Kanonenkugel ist ein schräg geworfener Körper – ihre Bahn ist eine Parabel. –
Man muss deswegen auch immer höher schiessen. –
Verschiebbare Visire. –
Bei unseren bisherigen Betrachtungen nahmen wir an, dass das Gewicht immer vertical wirkt. – Dies ist strenge nicht richtig, denn die verticalen Richtungen verschiedener Punkte eines Körpers sind nicht parallel. –
Die Richtung der Schwerkraft ist in verschiedenen Punkten der Erde verschieden.
Es giebt demnach theoretisch eine Fortschleuderungsgeschwindigkeit, bei welcher ein schwerer Körper, abgesehen von dem Widerstande nicht zur Erde fallen kann.



Würde der Körper aus A in horizontaler Richtung mit solcher Geschwind. fortgeschleudert dass er nach Verlauf einer Secunde in B angelangt wäre —

Ist BC > 15' so entfernt sich der Körper; ist dagegen BC < 15' so nähert er sich der Erde. —

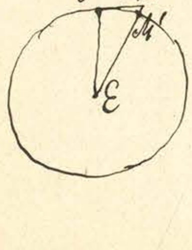
wenn BC = 15' so ~~dreht~~ kreist ~~sich~~ der Körper ewig um die Erde. —

Aus den Dimensionen der Erde (nämlich AM = 800 Meilen, ~~ist~~ und BM = 815;) ~~so~~ ergiebt sich AB = 1 Meile. —

Wäre also kein Widerstand da so müsste ein Körper mit 1 Meile Geschw. in der Secunde horizontal fortgeschleudert ewig um die Erde kreisen. —

In solcher Lage ist in der That der Mond. — Es muss also die Erde eine Anziehung auf den Mond ausüben, sonst müsste sich der Mond von ihr entfernen. —

alle Körper auf der Erde fallen 15 Fuss in der Secunde gegen die Erde — Es fragt sich, fällt ~~wird~~ der Mond auch 15 Fuss in der Secunde gegen die Erde ~~fallen~~. — D.i. ist die Beschleunigung des Mondes dieselbe wie die irdischer fallender Körper. — Wir können diese Frage beantworten. —



Es ist beim Monde die Geschw. ~~Bahn~~ in einer Secunde

$AM =$
Diese Zahl wurde durch K. in der Vorl. berechnet.
Es ergiebt sich dann $AM' = \frac{15'}{60.60}$

Die Beschleunigung mit welcher der Mond gegen die Erde fällt ist also viel geringer als die irdischer fallender Körper. Hieraus folgern wir dass die Erde die Masseneinheit des Mondes mit einer viel geringeren Kraft anzieht als die Masseneinheit irdischer Körper. – Wir haben alles Berechtigung zur Annahme dass die Massen des Mondes gleicher Art als die der Erde sind, und eben so dass die Verschiedenheit der Beschleunigung nur von der Verschiedenh. der Entfernung herrühren kann.

Apparate. Atwood'sche Fallmaschine. Ein Pendel zur Zeitmessung – Am oberen Ende mit einer Klapp-vorrichtung versehen siehe Fig.

Grundzüge der Ableitung des Gravitationsgesetzes: Man könnte einen Körper auf Erden mit solcher Geschwindigkeit horizontal fortschleudern, dass er nicht zu Boden fallen würde. – In ähnlicher Lage ist der Mond. – Es fragt sich aber, ist die Beschl. mit welcher der Mond der Erde zuzieht, und die leicht berechenbar ist, dieselbe als die bei dem fortgeschleuderten Körper. – Es zeigt sich dass nicht sondern dass dieselbe $= \frac{1}{60.60}$ der irdischen Beschl. beträgt. – Entfernung des Mondes vom Erdmittelpunkte = 60. mal Entfernung irdischer Gegenstände von demselben. – Hieraus kann man dann weiter schliessen. –

4. Nov. Anziehung des Mondes durch die Erde. – Anziehung des Jupiter auf seine Monde – Anziehung der Planeten und namentlich der Erde durch die Sonne – Die Keplerschen Gesetze für die Erde nachgewiesen.

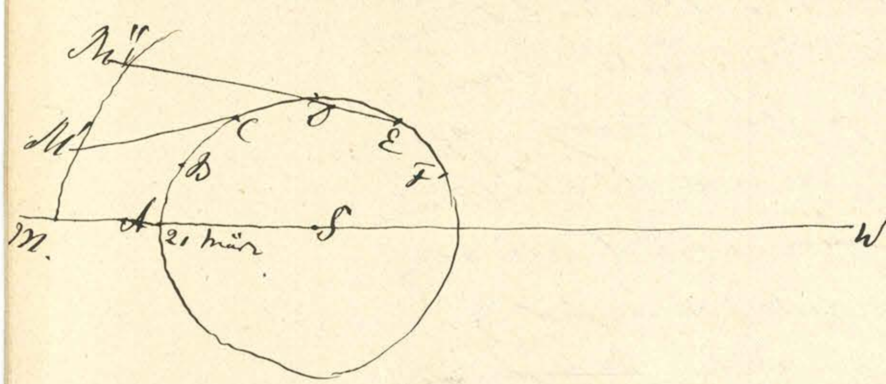
Wir sahen dass die Entfernung des Mondes vom Erdmittelpunkte 60 mal so gross ist als die Entfernung irdischer Gegenstände von demselben. – Wir sahen auch dass die Anziehung ausgeübt auf die Masseneinheit des Mondes $\frac{1}{60 \cdot 60}$ der Anziehung auf der Erde ist. – Demnach könnte man schon den Schluss ziehen dass, die Anziehungskraft der Erde umgekehrt proportional ist mit dem Quadrate der Entfernung des angezogenen Gegenstandes. – Es wäre gewagt das Gesetz der Attraction nur auf diese eine Thatsache zu stützen. – Beweise für dieselbe geben aber auch die Planeten. –

Wir sehen den Jupiter umkreist von seinen Monden; würde J. keine Anziehung auf dieselben ausüben so würden sie sich von ihm entfernen. Kennte man die Geschwindigkeit mit welcher diese Monde herumkreisen – so würde man die Anziehung des Jupiters auf dieselben kennen. – Man wird die Kraft mit welcher die einzelnen Monde angezogen werden finden können, wenn man die Umlaufszeiten und die Grösse der Bahnen derselben kennt. –
Die Umlaufszeit des nächsten Mondes ist 1 Tag 18 Stunden

die der ~~letzteren~~ entferntesten ist 16 Tage und 17 Stunden. –
Es ist auch nicht schwer die Verhältnisse
der Bahnen der einzelnen Monde, durch
die verhältnissmässige Entfernung zu
berechnen. – Man kann, so die Verhältnisse
der Anziehungskräfte ~~...~~ ermitteln, mit welcher
Jupiter seine einzelnen Monde anzieht. –
Es stellt sich so heraus, dass der Jupiter
auf seine Monde Anziehungskräfte ausübt
welche dem Quadrate ihrer Entfernungen vom
Jup. Mittelpunkte umgekehrt proportional
sind. – Ähnliche Betrachtungen kann man in
Bezug auf den Uranus anstellen ~~können~~. –
Ich zeigte dann auch die Sonne Anziehungen
ausübt, welche die Planeten in ihren Bahnen
zurückhalten. – Es hat seine Schwierigkeit
die wirklichen Bewegungen der Planeten
und so die Umlaufszeiten, und Bahngrös-
sen derselben zu ermitteln. – Die schein-
bare Bewegung der Planeten ist nämlich eine
sehr complizirte. – Ich will zeigen wie
aus der scheinbaren Bewegung der Planeten ihre
wirkliche Bewegung gefolgert werden konnte. –
Es sei S die Sonne, der Kreis die Erdbahn.
Indem die Erde herumläuft, wird die Sonne
scheinbar einen Kreis, den Fixsternen gegenüber

durchlaufen. – Dieser Kreis ist die Ekliptik
d. i. der Thierkreis. – Wir wollen den Fixstern
welcher sich im Frühlings-Nachtgleichepunkt
hinter der Sonne befindet in der Linie SW legen

Die Erde ist also am 21 März in A.



Ich nehme an die Erde bewege sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit. – Ich werde dann leicht angeben können auf welchem Punkte ihrer Bahn sich die Erde in jedem Tage des Jahres befindet. – Die Planeten bewegen sich nicht genau in der Ekliptik, ich nehme es aber der Vereinfachung wegen an. – Und betrachte den Mars – ich will ferner annehmen dass am 21ten März der Mars der Sonne eben in Opposition gestanden ist. – Dann wird er am 21 März in irgend einem Punkte der Linie AM stehen. – Es sei nun die ~~Sonne~~ Erde in 2 Monaten in C angelangt sei – es sei dann die Linie in welcher Mars erscheint CM'. Nach 4 Monaten sei die Erde in E, Mars erscheine in der Richtung EM''. Da der Mars auch gleichmäßig herumkreist, oder dies wenigstens angenommen wird – so wird demnach nur ein Kreis da sein, welcher seinen Mittelpunkt in S hat, und bei dem die Bogenstücke M''M' und M'M gleich sind. – So fand man dann, der Radius der Marsbahn = $\frac{3}{2}$ mal dem Radius der Erdbahn ist, und dass seine Umlaufszeit = 23 Monat ist. – Es ist:

	Entf. v. der Sonne.	Umlaufszeit.
Merkur	0,387	0,24
Erde	1	1
Jupiter	5,2	11,86
Neptun	30,4	167,5

Zwischen diesen Zahlen bestehen merkwürdige Beziehungen es ist $0{,}387 \cdot 0{,}387 \cdot 0{,}387 = 0{,}24 \cdot 0{,}24 =$

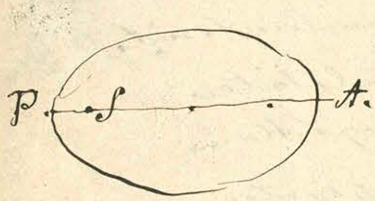
$1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \cdot 1 \cdot 1$.

$5{,}2^3 = 11{,}86^2$

Also sind die 3ten Potenzen der Planetenentfernungen gleich dem Quadrate ihrer Umlaufszeiten. – Dies hängt wesentlich von den Einheiten ab – nämlich von der Einheit des Erdbahndurchmessers und der Erdumlaufszeit. Bei anderen Einheit würden nur Proportionalitäten jener Zeiten gefolgert werden. – Diese Beziehung kann uns zum Beweise des angeführten Anziehungsgesetzes angew. im Planetensysteme führen. –

Es liegen unzählige sorgfältige Beobachtungen über die scheinbaren Bewegungen der Planeten vor. – Es zeigen sich nun grössere Abweichungen von diesem Verhältniss des Radius zu den Umlaufszeiten, als dass man sie den Beobachtungsfehlern zuschreiben könnte. – Die Bahn der Erde sowohl als die der Planeten ist nämlich, nicht wie wir es hypothetisch annahmen ein Kreis. – Begriff der scheinbaren Grösse der Sonnenscheibe ist abhängig von der Entfernung des beobachtenden Auges. Ja, wenn der Durchmesser klein ist gegen die Entfernung des Auges, so wird die scheinbare Grösse der Entfernung umgekehrt proportional sein. – Im Winter ist die scheinbare Grösse der Sonne etwa um $\frac{1}{30}$ tel grösser als im Sommer, also ~~ist die~~ sind wir im Winter um $\frac{1}{30}$ tel der Sonne näher als im Sommer. Beobachten wir in verschiedenen Jahreszeiten die Richtung in welcher die Sonne erscheint, und zugleich der Zeit den scheinbaren Durchmesser der Sonne, so werden wir die wirkliche Erdbahn construiren können. – Es zeigte sich vermöge solcher Beobachtungen, dass die Erdbahn kein Kreis, und dass ihre Geschwindigkeit keine gleichmässige ist. – Die Erdbahn ist eine Ellypse. – (Construktion einer Ellypse mit dem Faden)(Mittelpunkt, Brennpunkte, grosse Axe, kleine Axe der Ellypse.) – Bei der Erde ist der Abstand beider Brennpunkte nur ein kleiner Bruchtheil der grossen Axe. – Perihel, Aphel. –

Das Gesetz in Bezug auf die Geschwindigkeit ist auch leicht auszusprechen – es ist nämlich das Gesetz, dass:



der Radius vector der Erde in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreibt. –

Die Einfachen Gesetze die wir jetzt in Bezug auf die Bewegung der Erde ableiteten, sind wie ähnliche Beobachtungen über die Bewegung der Planeten erweisen, auch für diese gültig. –

Setzt man bei jedem Planeten eine Ellyptische Bahn voraus, so wird das Verhältniss der Radius vectoren und der Umlaufszeiten sehr nahe in der Wirklichkeit erfüllt.

---

5 Nov. Die Bewegungen der Himmelskörper führen zur Hypothese, dass die Anziehung eine allgemeine Eigenschaft aller Massen sei. – Einwände hiergegen. – Experimentaller Nachweis der Anziehung durch Maskelyne und Hutton am Berge Schehallion. Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde hieraus. Untersuchung desselben Gegenstandes durch Cavendish.

Exper. Physik III.

Da wir sahen dass die Bahnen der Planeten keine
kreisförmige sind — so hat eigentlich auch das
Gesetz der Beziehungen zwischen den Radien und
den Umlaufszeiten keine strenge Bedeutung; statt der
Radien können wir aber ~~mit~~ von der mittleren Ent-
fernung sprechen, in welchem Falle das Gesetz
richtig sein wird. —
Die Keplerschen Gesetze ausgesprochen. —
Aus den Keplerschen Gesetzen folgt dann auch
das Gesetz der Gravitation, und von der
Gravitation aus folgen ~~das~~ ~~die~~ die Keplerschen Gesetze. —
Wir sahen dass das Anziehungsgesetz stattfindet
zwischen Sonne und Planeten, zwischen Erde
und Mond; und es steht nahe es anzunehmen
dass diese Art der Anziehung eine allgemeine
Eigenschaft der Masse ist. — Die Kraft mit
welcher also die Erde einen Körper anzieht,
wäre ~~ist~~ die Resultante der Kräfte mit welchen
die einzelnen Theile des Körpers ~~von~~ von den ein-
zelnen Theilen der Erde angezogen werden.
Als Einwand gegen diese Hypothese erscheint
oberflächlich der Umstand, dass die ~~Schwer-~~
~~kraft~~ Gravitation gegen den Mittelpunkt
der Erde gerichtet ist. Dieser Einwand wird
aber bei näherer mathematischen Betrachtung
zum Beweise. —
Ein weiterer Einwand gegen die Hypothese der
Gravitation ist die dass ~~so~~ wenn sie richtig
wäre, dann nicht nur die Sonne auf die Planeten sondern
auch die Planeten unter einander Anziehungs-

50

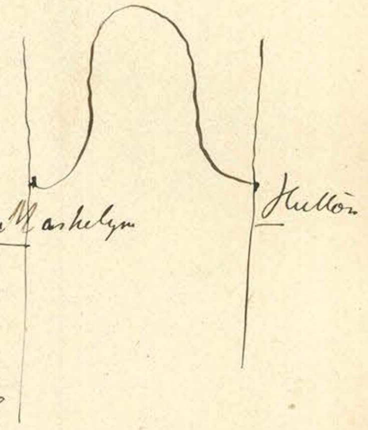
wirkungen ausüben müssten. – Es könnten also die Keplerschen Gesetze nicht strenge stattfinden. – Die Masse des größten Planeten, die des Jupiter ist nur ~~der~~ $\frac{1}{1000}$ der Masse der Sonne – also kann die Wirkung derselben gegen die der Sonne sehr klein sein. – Noch kleiner ~~[illegible]~~ müssten die Einwirkungen der kleineren Planeten sein. – Solche Störungen der Planetenbahnen sind aber beobachtet worden – Ja es führte der Mangel ~~der~~ an Übereinstimmung zwischen Beobachtung und theoretischer Berechnung der Uranusbahn erst in den 40 Jahren zu der prachtvollen Entdeckung eines neuen Planeten des Neptuns. –

Ja nicht nur in den Himmelserscheinungen findet die Annahme des Gravitationsgesetzes eine Bestätigung, man kann dasselbe auch auf der Erde factisch nachweisen. – Hier habe ich ein Loth, nähere ich denselben seitlich irgend einen Körper, so muss dem Gr. G. zu Folge das Bleiloth abgelenkt werden. – Bei den Gegenständen die ich da in Händen habe ist diese Ablenkung nicht bemerkbar, wegen der bedeutend größeren Masse der Erde als die der betreffenden Körper."

Wenn aber statt dem Körper ein Berg da steht so kann die Ablenkung eine merkbare sein. –

Hierüber machten Maskelyne u. Hutton Versuche am Berge Schehallion. –

Es stellte sich dabei heraus daß die beiden ~~Linien~~ Geraden welche in M und H die Richtungen der Lothes ~~zeigten gegen~~ angaben ~~2 Min Minuten von den Richtungen~~ einen Winkel mit einander bildeten welcher um 2 Minuten von dem Winkel abweichten den die von M und H gezogenen Erdradien mit einander bildeten.



Jeder Loth wurde demnach durch Einfluß des Berges um etwa 1 Minute abgelenkt. –

Bestimmung der wegen der ursprünglichen Richtungen gegen ein und dieselbe fixe Richtung durch astronomische Beobachtungen. –

Der Berg Scheh. besteht aus Granit, aus der beobachteten Ablenkung folgerte nun Maskelyne, daß die Anziehung der Erde 2 mal so gross ist, als sie sein würde wenn sie ganz aus Granit bestände. –

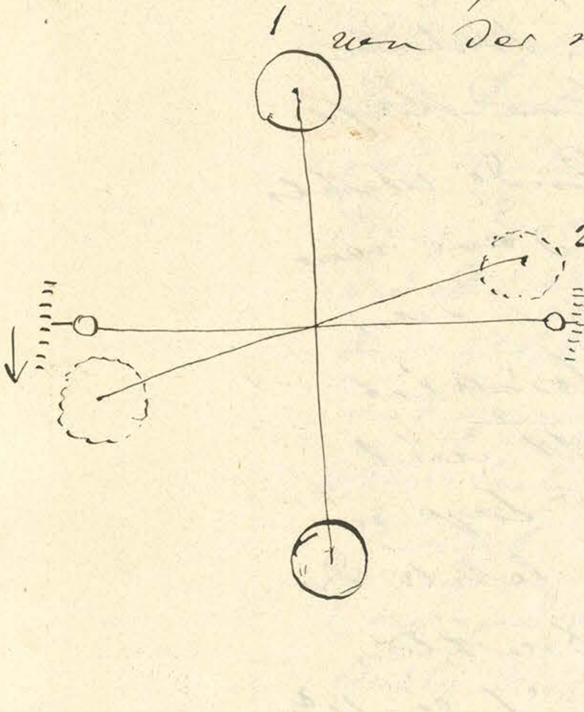
Da die Anziehung mit der Masse proportional ist, so folgerte Maskelyne daß die mittlere Dichtigkeit der Erde doppelt so gross ist, als die des Granites

Begriffe der Dichtigkeit und der mittleren Dichtigkeit. –
Die Dichtigkeit des Granites ist 2,5
die mittlere Dicht. der Erde war nach den angef. Versuchen = 4,56
Diese grosse Dichtigkeit ist auffallend, die Dichtigkeit der meisten der auf der Oberfläche befindlichen Gesteine ist viel geringer. – Manche Fehlerquellen+) bei Maskelyne's Versuchen könnten also Zweifel an richtiger Stelle sein. –
Cavendish wandte eine genauere praktische Methode an, mit welcher er die Anziehung einer Bleikugel von 1 Fuss Durchmesser bestimmte. –
Cavendish wandte eine Coulomb'sche Drehwaage an. – Der wesentliche Theil einer solchen ist ein feiner Draht der oben befestigt, am unteren Ende einen leichten Balken trägt. – Um von dem Balken Luftströmungen abzuhalten ist der ganze in einem Glaskasten. – Der Balken ist in der Gleichgewichtslage, bringe ich ihn heraus so führt er um die Gleichgewichtslage schwache Schwingungen aus. – Dass eine solche Gl.-Lage da ist, ist die Folge der Elasticität des Drahtes. – Nehmen wir einen elastischen Stab und drehen ihn, so werden seine Theilchen

+) Solche Fehlerquellen waren namentlich die ungenaue Bestimmung der Masse des Berges; dann aber die nur hypothetische Annahme dass der ganze Berg aus Granit bestände. –

eine schraubenartige Lage an, haben
aber in Folge der Elasticität der Theilchen
in die Gl. L. zurückzukehren. – Eine Kraft
welche bleibend auf das untere Ende wirkt
und es zu drehen strebt, wird eine neue
Gleichg. Lage bewirken, bei welcher das
Drehungsmoment der Kraft gleich ist
dem Drehungsmoment der Kraft mit
welcher die Theilchen in die erste Lage zu-
rückzukehren streben. – Dies letzte Dre-
hungsmoment, ist der Länge des Drahtes
umgekehrt proportional und mit der 4ten
Potenz der Dicke des Drahtes proportional
ist. – Dies Drehungsmoment ist ausser-
dem mit dem Torsionswinkel pro-
portional. –
Cavendish wandte einen Draht von 6 Fuss
Länge an, auf diesem war ein 6 Fuss langer
Balken, auf dessen Enden 2 Bleikugel von
2 Zoll Durchmesser angebracht waren.
Diese wurden von 2 Bleikugeln von einem
Fuss Durchmesser angezogen. –
Die Figur giebt einen Horizontalen Durch-
schnitt. – Die beiden grossen Bleikugeln
waren auf einem drehbaren Gestell. Die
Drehungsaxe der kleinen und grossen

Kugeln war dieselbe ihre Entfernungen von derselben waren auch dieselben. –



~~Was weiter die~~
Sind die grossen Kugeln in der Lage 1 so dass ihr Drehbalken vertical zum ~~Be~~ Balken der Drehwage steht, so kann offenbar keine Anziehung zur Wirkung treten. Werden sie aber in eine andere also z. B. in die Lage 2 gebracht, so ~~üben~~ wird ~~sie~~ die Anziehung der grossen Bleikugeln auf die kleinen eine Drehung des Wagebalkens bewirken können. – Auf diese Weise ~~wollte~~ erhielt Cavendish Ausschläge der kleinen Kugel, welche an einer unter ihnen befindlichen Scale abgelesen 3/4 Zoll betrugen. – Nun berechnete Cavendish heraus die Anziehung einer so grossen Bleikugel wie es die Erde ist, und fand, dass die Anziehung der Erde wenn sie ganz aus Blei bestünde 2-mal so gross sein müsste, als deren thatsächliche Anziehung. – Das specifische Gewicht des ~~Erde~~ Blei ist etwa 11, da ~~aber~~ aber die ~~Anziehung~~ mit der Masse proportional ~~sein soll~~ ist, so folgt, dass die Masse der Erde nur halb so gross ist als die einer gleich grossen Bleikugel;

und es ist demnach auch die ~~ganz~~ mittlere Dichtigk. der Erde, gleich der Hälfte der Dichtigkeit des Bleies, also ~~etwa~~ : 5,5. –

Dieselben Versuche wurden später durch ~~Reich~~ Reich in Freiberg, mit viel genaueren Apparaten wiederholt, und so stellte sich als Werth der Dichtigkeit der Erde heraus = 5,58.

Also ist die Dicht. der Erde nach Maskelyne = 4,56
" " " " Cavendish = 5,5
" " " " Reich = 5,58

Die Übereinstimmung ist bei so schwierigen Versuchen wohl als eine sehr grosse zu betrachten.

Apparate: Ein mit Kupfer überzogenes Bleiloth. – Eine Coulombsche Drehwaage, wie sie zu Electrischen Versuchen gebraucht wird.

~~Ich habe bereit~~ 6 Nov.

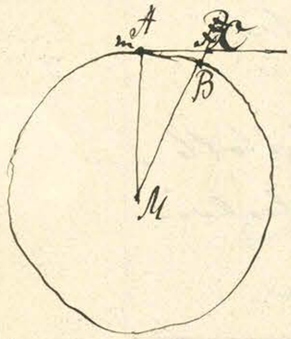
Die Gestalt der Erde giebt uns einen neuen Beweis der gegenseitigen Massenanziehung – sie giebt aber auch ein Zeugniss der auf der Erde wirkenden Centrifugalkraft. – Centrifugalmaschinen. – Schwungmaschine; Versuche mit derselben.

Ich habe bereits als Beweis des Gravitationsgesetzes die Anziehung der Himmelskörper dann auch die Anziehung grosser Gebirgsmassen angeführt – Einen ferneren Beweis liefert auch die Gestalt der Erde.

Genaue Messungen erweisen dass die Oberfläche der Erde die Gestalt eines Rotationsellipsoids hat

Dieses Rotationsellypsoid ist eins, dessen Drehungsaxe die kleinere Axe der Ellypse ist. – Die Abplattung dieses Ellypsoids ist $= \frac{1}{300}$. – Die Erde war feuerflüssig; ihre Theilchen lagerten sich also in der Art, dass sie im Gleichgewichte waren. –

Wäre die Erde in Ruhe gewesen, würde sie keine Drehung um eine Axe ausführen, so müssten ihre Theile sich so gelagert haben, dass sie die Gestalt einer Kugel angenommen hätten. –



Die Erde dreht sich aber, und es wirkt auf ihre Theile ausser der Anziehung auch noch die Centrifugalkraft. ~~in d. die Folge der Trägheit ist~~ Diese Centrifugalkraft sucht die Körper von der Axe zu entfernen. – Die Grösse dieser Centrifugalkraft, welche man auch die Spannung nennen kann, da sie einen im Kreise herumgeschwungenen Faden am Ende mit einem Gewichte anspannt, ist $= \frac{mv^2}{r}$

Ich kann leicht die Existenz einer solchen Centrifugalkraft nachweisen. – Hier ist ein offenes Gefäss mit einem Faden, ich schwinge es im Kreise herum, und doch fällt kein Tropfen Wasser herab. – Beispiel vom dem Circusreiter. – schiefe Stellung der Schienen bei grossen Krümmungen – dieselben sind immer auf eine bestimmte Geschwindigkeit berechnet bei geringerer Geschwindigkeit entgleist der Zug nach innen, bei grösserer nach aussen. –

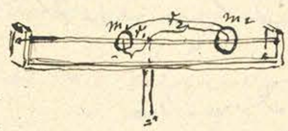
Centrifugalmaschinen, zum Trocknen der Wäsche, angewendet ~~bei~~ in Zuckerfabriken um die Melasse zu trennen. –

Eine solche Centrifugalmaschine ist eine gefährliche Maschine, da beim Zerspringen solcher Cylinder, deren Theile mit grosser Geschwindigkeit auseinanderfliegen. So wurde vor einigen Jahren in der Zuckerfabrik bei Arnault ein grosser Schaden angerichtet, 3 Menschen tod, 2 verwundet, Gebäude beschädigt. –

Man benützte auch in chem. Laboratorien die Centrifugalmaschine zum filtriren schwer filtrirbarer Flüssigkeiten. –

Schwungmaschine. Beschreibung derselben. –

Apparate zum Nachweis der Centrifugalkraft.

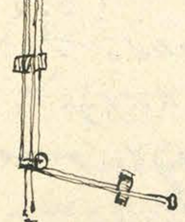


Ungleich grosse mit einem Faden verbundene Messing-Kugeln.
Beide Kug. auf eine Seite gebracht fliegen auf die Seite. – Es giebt eine Lage bei der die eine Kugel auf der einen Seite die andere auf der anderen im Gleichgewichte steht. – Sei u die Umdrehungsgeschwind. $v = ur$ Centr $= mu^2r$

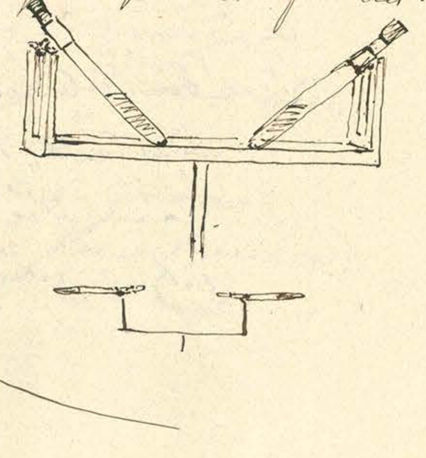
$m_1 r_1 u^2 = m_2 r_2 u^2$ $\quad \frac{r_1}{r_2} = \boxed{\frac{m_2}{m_1}}$

$r_1 + r_2 =$ Constante.

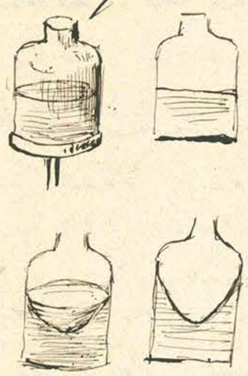
Vergleichung der Cent. Kr. mit einem Gewichte.



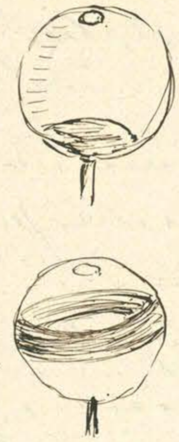
Wirkung der ~~Flüs~~ Centrif. Kraft auf Flüssigkeiten.



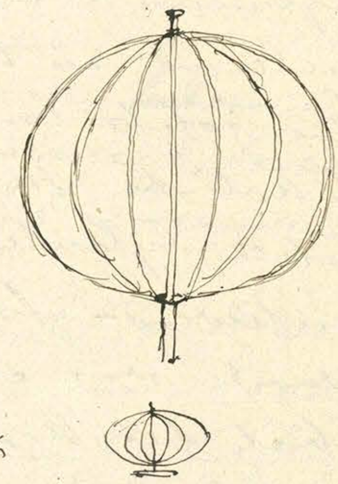
Es ändert sich die Oberfläche des Wassers in diesem Gefässe. –



Versuch mit Hg.



Geht nach einem Versuch der uns zurückgeführt auf den Gegenstand welcher uns auf die Fragen der Centrifugalkr. führte. – Messingstreifen.



Diese neue Oberfläche der Flüssigkeit ist ein Rotations Paraboloid.

So wie diese ~~Kugeln~~ Messing Ringe suchten sich auch die flüssigen Theile der Erde von ihrer Drehungsaxe zu entfernen. –

---

8 Nov. – Grösse der Abplattung der Erde. Einfluss der Umdrehung und der Gestalt der Erde auf die Grösse der Schwerkraft an verschiedenen Stellen derselben. Das Pendel ist ein Apparat zur Messung der Schwerkraft. Das einfache Pendel, – Physisches Pendel welches dem einfachen aber nahekömmt.

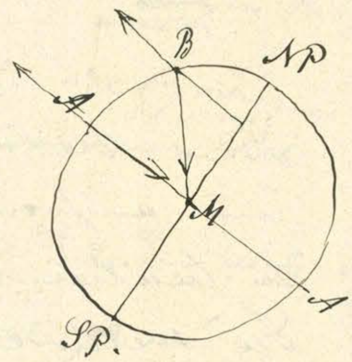
~~Es kann die Zunahme der Dichtig~~

Würde man nun theoretisch aus der Anziehungs- und Schwungkraft der Erde die Abplattung derselben berechnen, so ergiebt sich die

Abplattung $\frac{1}{232}$ der Erdradius. –

Die Abweichung welche diese Zahl von der Wirklichkeit zeigt, ist hauptsächlich daraus zu erklären dass die ~~vo~~ Dichtigkeit der Erde nicht gleichmässig ist, wie es die Theorie voraussetzt, sondern

der Tiefe nach ~~zu~~ zunimmt. —
Einen weiteren Beleg des Gesetzes der Gravitation
und ist die Abnahme der Grösse der Schwerkraft
nach den Polen zu. —
Auf einen Punkt A des Aequators
wirkt dann die Massenanziehung
und die Centrifugalkraft ist
direct entgegengerichtet.
Dies ist für Punkte in anderen
geographischen Breiten anders.



Wir wissen dass die Centrifugalkräfte direct
proportional sind mit der Entfernung von der
Drehungsaxe — in höheren Breiten ist also
die Schwungkraft eine viel geringere als am
Aequator; und nun ist noch kleiner ihre Componente
welche in der Richtung der Schwerkraft dieser
entgegenwirkt. —
Würde die Erde 17 mal so schnell drehen,
als sie es in der Wirklichkeit thut — so
würde am Aequator die Schwerkraft durch
die Schwungkraft aufgehoben werden — Eine etwas
grössere Umdrehungsgeschwindigkeit würde
schon ein Fortschleudern der Körper bewirken.
Wenn nun die Schwerkraft an ver-
schiedenen Breiten ~~von der~~ von der Grösse
der Schwungkraft daselbst beeinflusst wird;
so wird sie auch von der Gestalt der Erde

beim Punkt. –

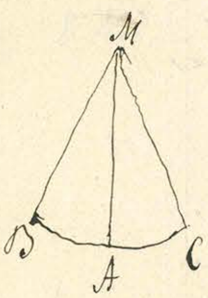
Figur. ~~Würde man den Ein[...]~~

Schwere unter dem Aequator G., Schwere unter der Breite φ. sei g. dann ist:

$$g = G\left(1+\frac{\sin^2\varphi}{190}\right)$$

Diese Veränderung ist eine sehr kleine und es fragt sich, ob dieselbe wirklich zu beobachten ist?

Die Methoden der Bestimmung der Schwerkraft sind sehr genaue. – Derartige Untersuchungen mit dem freifallenden Körper, durch Beobachtung der Fallzeit anzustellen ~~unternehmen~~ wäre eine vergebliche Mühe. – Die Methode ~~wäre~~ zu ungenau. – Es gibt aber eine genauere Methode die Fallzeit eines Körpers zu bestimmen – diese ~~ist~~ heißt das Pendel.

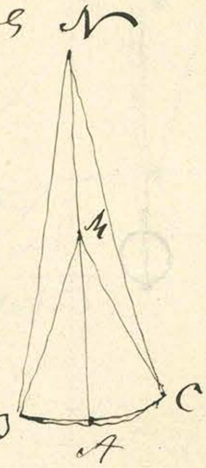


Das einfache Pendel.

Beschreibung der Bewegung des Pendels. – Dabei muss eine gewisse Schwingungsdauer eintreten. –

Wovon hängt nun die Schwingungsdauer ab? Scheinbar muss diese von der Amplitude abhängen – und dies ist im allgemeinen auch der Fall. – Allein wenn die Amplituden sehr kleine sind so ist die Schwingungsdauer dieselbe, wenn auch die Amplitude 2 oder 3mal

grösser wird. –
Es ist nicht so leicht dies zu begreifen.
Bedenkt man aber nur dass wenn ~~das Pendel bei~~ das Pendel auch das Pendel
bei grösseren Amplituden ~~das Pendel~~ grössere
Wege zu durchlaufen hat, so ist ~~doch~~ in Folge dessen auch
die Geschwindigkeit desselben ein viel grösseres
~~in Folge dessen~~, da es ~~sie~~ auf eine grössere Höhe
gehoben wurde. –
Es wird aber die Schwingungsdauer bewiesen auch
von der Länge des Pendels abhängen.
Es sei NA ein Pendel, MA ein 2tes.
beide sollen von A nach C gehen – dabei
wird aber der Schwerpunkt des Pendels
MA mehr gehoben als der des Pendels
NA. – In Folge dessen ist auch die
Geschwindigkeit des kürzeren Pendels eine
grössere als die des längeren; also die
Schwingungsdauer des kürzeren Pendels länger,
als die des längeren Pendels.



Eine nähere Betrachtung lehrt dass die
Schwingungsdauer eines Pendels proportional
ist mit der Quadratwurzel seiner Länge l.
also

T^2 proportional mit l

So ist für Pendel, deren Längen sich verhalten wie 1:4:9
das Verhältnis der Schwingungsdauer 1:2:3
Hier sehen sie drei solche Pendel die sich in
Bewegung setzen.

Dem einfachen Pendel kommt auch dieselbe des Pendels Fig sehr Nahe. —

Fig.

Derartige Pendeln sind bei Uhrwerken gebräuchlich. — Kurze Beschreibung der Uhren. — Ausser Länge und Amplitude kann die Schwingungsdauer eines Pendels nur von der Schwere g abhängen; denn es ist ja klar daß die Geschwindigkeit des Pendelschwerpunktes um so grösser ist je grösser die Schwerkraft; Also wird die Schwingungsdauer kleiner ~~als~~ wenn die Schwerkraft grösser wird. — ..

Genauer ist

$$T^2 \text{ proportional mit } \frac{l}{g}$$

hat man Einheiten für Länge und Zeit ein so wird

$$T^2 = \frac{l}{g} \text{. Multiplicirt mit einer Zahl.}$$

Genauere Untersuchungen zeigen daß diese Zahl $= \pi^2$ ist also

$$T^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$$

Kennt man also für einen Reihe von Pendelversuchen T und l so kann man hieraus g berechnen —

Begriff des einfachen Secundenpendels. — Ist dessen Länge L so muss

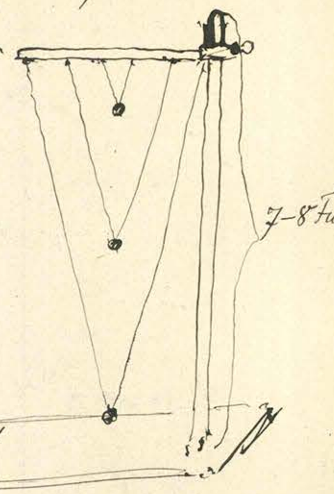
$$1 = \pi^2 \frac{L}{g} \text{ sein}$$

also ist:

$$g = \pi^2 L$$

Wir wissen dass g ungefähr 30′ ist, wir kennen auch dass π^2 ungefähr 10 beträgt, somit muss L nahezu 3′ oder 1 Meter sein. Schon durch directe Beobachtung der Länge und der Schwingungsdauer eines Secundenpendels könnte man die grösse der Schwere viel genauer ~~als~~ ~~zu~~ bestimmen, als durch Beobachtung der Fallzeit und Fallhöhe eines fallenden Körpers.

Fig: Das Gestell mit den drei Pendeln deren Pendellängen sich verhalten wie 1:4:9 Pendel Kugeln aus Blei.



Apparate: Ein Gestell ~~mit~~ Fig. daneben drei Pendeln deren Längen sich verhalten wie 1:4:9. Secundenpendel ~~mit~~ mit Rohrlange Fig auf Seite 62. —

Begriffe der Winkelgeschw., der Beschl. d. W. G. der Drehung und des Trägheitsmomentes — Länge des einem physischen Pendel correspondirenden einfachen Pendels — Reversionspendel. 9 Nov.

Bei physikalischen Untersuchungen können wir keine einfachen Pendel gebrauchen. —
Es giebt aber für jedes physikalische Pendel ein correspondirendes einfaches Pendel. —
Um die Länge des correspondirenden Pendels zu finden haben wir noch einige Begriffe festzustellen. —

Man versteht unter ~~Rotationswinkel~~ Winkelgeschw.: unter Drehungsgeschwindigkeit eines Punktes den Winkel welchen eine in den Körper feste Ebene, welche durch die Drehungsaxe und den zu betrachtenden Punkte geht, in der Zeiteinheit beschreibt. —
Die Winkelgeschwindigkeiten zweier Körper verhalten sich also, wie die genannten Winkel.

Auch die Sonne rotirt um eine Axe, wie es die Beobachtung der Sonnenflecken beweist. Diese Sonnenflecken sind wolkenartige Gebilde. Die Beweg. d. S. Flecken sind zwar oft ungleichmässig, sie geben aber doch einen Beweis der Rotation der Sonne um ~~ihre~~ eine Axe. Die Rot. Geschw. der Sonne ist in ~~ihrer~~ dem angegebenen Sinne 25 mal ~~so gross als~~ kleiner als die der Erde.

Es ist gewiss dass durch die Veränderung der Masse und der wirksamen Kraft die ~~Dreh~~ Winkelgeschw. verändert wird.

Man versteht unter Beschleunigung der Winkelgeschwindigkeit, den Zuwachs der Winkelgeschwindigkeit in der Zeiteinheit.

Es entsprechen sich demnach die Begriffe:

Geschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit

Beschleunigung " Beschl. d. Winkelgeschw.

~~Was bei der geradlinigen Bewegung~~

Was bei der Bewegung eines Punktes an welchem die Kraft selbst angreift ~~ist~~ Kraft ist, ist dasjenige was bei der Rotationsbewegung das Drehungsmoment ist; also unsere Analogie ist:

Kraft und Drehungsmoment.

Bei der ersten Art der Beweg. ist das was zu bewegen ist, also das was die Bed. hemmt die Masse – bei der Rotationsbewegung ist

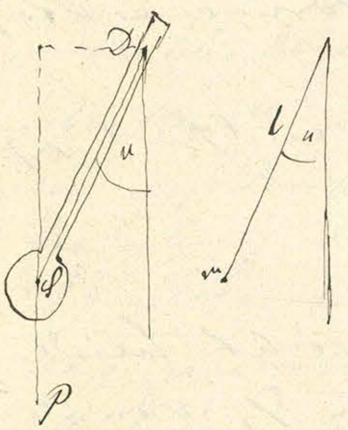
bei dem ~~Drehungs~~ Trägheitsmoment. –
So wie die Masse des ganzen Körpers gleich ist der Summe der Masse der einzelnen Theile, so ist das gesammte Trägheitsmoment eines Systems, gleich der Summe der Trägheitsmomente seiner einzelnen Theile. –

Das Trägheitsmoment eines Massenpunktes m ist $= mr^2$

~~Beim~~ zweiten m_1 $\quad m_1 r_1^2$

Also ~~die Sum~~ das gesammte Trägheitsmoment $= mr^2 + m_1 r_1^2$

Oder wenn mehrere Punkte da sind so ist das Trägheitsmoment $= \sum mr^2$ x)



Ein mathematischer Pendel wird einem physikalischen entsprechen d. i. correspondiren, wenn die Beschleunigung ihrer Winkelgeschw. gleich ist dem W. Geschw. des physikalischen Pendels.

Es fragt sich ob die Länge l wirklich so zu wählen ist, dass diese Bedingung erfüllt sei. –

Es sei $SD = s$

Das Drehungsmoment des zusamm. ges. Pendels ist $= P.S \sin u$

Also nach der Definition ist ~~das~~ die Beschl. der Winkelgeschw. $= \dfrac{P.S \sin u}{K}$

x) Wir sahen bei der Bewegung des Angriffspunktes Beschl. $= \dfrac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}$, dem entsprechend ist bei der Rotationsbewegung Beschl. d. W. G. $= \dfrac{\text{Drehungsmoment}}{\text{Trägheitsmoment}}$.

wo K = Trägheitsmoment ist; oder aber ist

Beschl. d. Winkelgeschw. d. phys. Pendels $= \frac{Mg\,s \sin\alpha}{K}$

Ebenso finden wir

die Beschl. d. Winkelg. d. Corresp. einf. P $= \frac{mg\,l \sin\alpha}{m l^2}$

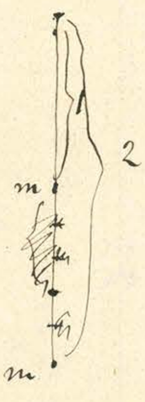
also:

$$\frac{Ms}{K} = \frac{1}{l}$$

also

$$\underbrace{l = \frac{K}{Ms}}$$

Wodurch wir die Länge des Correspondirenden Pendels fanden — und in Form einer Regel aussprechen könnten.



Beispiel 2 Punkte gleich entfernt, gleich schwer. Es ist hier

$$l = \frac{5m}{2m \cdot 3/2} = \frac{5}{3}$$

Würden wir also das Gewicht beider Massenpunkte in eine Entfernung von $5/3$ von der Drehungsaxe verlegen, so würde sich nichts verändern —

Eine solche Rechnung kann man für ~~die~~ complicirte wirkliche Pendel durchführen, — kennte man nun genau die Schwingungsdauer eines physischen Pendels, und ~~genau~~ die Länge des ihm entsprechenden einfachen Pendels; so würde man auch die Grösse

der Schwerkraft berechnen können. +)
Es ist nicht leicht die Dauer einer einzelnen Schwingung zu bestimmen. –
Solche Versuche muss man dadurch machen dass man ~~lange~~ Zeit aufeinanderfolgende Pendel ~~schwi~~ Schwingungen zählt. – Würde man 4000 solche Schwingungen beobachten so könnte man auch schon ~~auch~~ im Falle dass man beim Anfange und am Ende je einen Fehler von 1 Secunde begehen würde die Schwingungsdauer bis auf die Genauigkeit von $\frac{1}{2000}$ Sec. bestimmen. – Es giebt eine Methode welche das so langweilige und mühsame Zählen diese Methode aufhebt, und vermeidet. –
Diese Methode ist die Methode der Coincidenzen – Beschreibung dieser Methode. –
Die Berechnung des Trägheitsmomentes eines solchen ~~ein~~ Pendels ist eine faule Sache, sie kann von der gewöhnlichen falschen Voraussetzung der Homogeneität der einzelnen Pendeltheile nicht frei gemacht werden. –
Es giebt Methoden, welche uns von dieser Voraussetzung frei machen können. –
Eine solche ist die Methode der Reversion. –
Beschreibung der Methode. Man sucht die Stellungen der Gewichte auf dem Revers. Pendel auf, bei denen die Schwingungsdauer gleich sind, mag das Pendel auf der einen oder

+) nach der Formel $T^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$ s. S. 62

der anderen Schneide Schwingungen ausführen.
Theoretisch lässt sich der merkwürdige
Satz ableiten, dass bei dem Reversionspendel
die Länge des correspondirenden einfachen Pendels gleich
ist, der Entfernung beider Schneiden in dem Falle dass das Pendel auf beiden
Seiten mit gleicher Schwingungsdauer schwingt.

Geschwindigk. | Winkelgeschw.
Beschleun. | Beschl. d. W. G.
Kraft | Drehungsmoment.
Masse | Trägheitsmoment.
Beschleunigung $= \frac{\text{Kraft}}{\text{Masse}}$ | Beschl. d. W. G. $= \frac{\text{Drehungsmom.}}{\text{Trägheitsmom.}}$

Eine andere Methode wandte Bessel an. –
~~In seinem Beobachtungsraum war angezogen 9 Fuss lange Stange horizontal angebracht.~~
Beschreibung seines Apparates.
Apparate: Das auf Seite 62 abgebildete Pendel, das rotirende in derselben Secunde erscheinend aufgehängt ein Reversionspendel. – Auf der Tafel beigefügte Tabelle.

---

10 Nov. Einfluss der Umdrehung der Erde auf manche Naturerscheinungen. – Nachweis der Existenz dieser Umdrehung durch Benzenberg, durch Reich, durch Foucault; von letzterem auf zwei Arten.

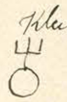
Ich will jetzt noch erwähnen, wie Bessel eine der grössten Fehlerquellen, nämlich den Einfluss des Luftwiderstandes eliminirte.
Bessels Versuche mit Pendeln aus verschiedenen Körpern, selbst Meteorsteinen.
Es ist die Länge des einfachen Pendels

in Rio Janeiro	(23° Breite	991,70 mm
Paris	49	993,87 mm
Berlin	52½	994,23
Spitzbergen	80	996,04

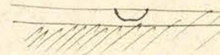
(Dies war auf die Tafel geschrieben)

Ich habe bis jetzt verschiedene Erscheinungen erwähnt, welche aus der Gravitation zu erklären waren, und daher auch als Beweise dieses Gravitationsgesetzes dienen können.
Lob Newtons. –
Ich erwähnte bereits dass manche Naturerscheinungen durch die Drehung der Erde erklärt

und beeinflusst werden. –
Ein Stein welcher an der Spitze eines Thurmes fest-
gehalten wird hat nach Osten hin eine grössere
Geschwindigkeit als Gegenstände am unteren Erd-
niveau – In Folge dieser grösseren Geschwindigkeit
wird auch der Stein, wenn er los gelassen wird
von der Lothlinie nach Osten abweichen. –
Diese Abweichung eines fallenden Körpers von
der Lothlinie ist zuerst von Benzenberg
im St. Michaelis Thurm in Hamburg nachge-
wiesen worden. –
Um beim loslassen jeden seitlichen ~~Verrückung~~ Stoss zu
vermeiden wandte er folgende Einrichtung an.



Die Kugel wurde von einer Klemme losgelassen
und fiel in Talg, man liess dann aus der-
selben Klemme ein Loth ab und beobachtete
die Abweichung. –



Sorgfältigere Versuche dieser Art stellte
Reich in Freiberg in einem 500' tiefen Schachte an.
Die Theorie erforderte da eine Abweichung vom Lothe
= 1 Zoll, und mit dem stimmte auch die Be-
obachtung bis auf kleine Bruchtheile einer
Linie überein. –
Eine nach Süden geschossene Kanonenkugel,
weicht aus demselben Grunde nach Westen ab,
während eine nach Norden geschossene Kugel
nach Osten zurückbleibt – also in beiden
Fällen nach der Rechten des ~~Beobachters~~ nach sehenden

70

Beobachter.

~~Die grosse~~ Die Abweichung ~~bei~~ auf der nördlichen Halbkugel ~~ist~~ geschieht welche auch die Richtung des Geschützes sei, immer nach rechts, und zwar ist die Grösse dieser Abweichung unabhängig von der Richtung, sie ist für alle Richtungen in ~~einem~~ ~~Ort~~ ortes bestimmten geogr. Breite ~~die~~ gleich gross. – Diese Abweichung ist aber mit der geogr. ~~Breite~~ Breite variirend sie ist am Aequator = Null, am Nordpol ~~das~~ ~~am~~ ein Maximum nach rechts. Die Abweichungen auf der südlichen Hemisphäre geschehen nach entgegengesetzter Richtung d. i. nach links. –

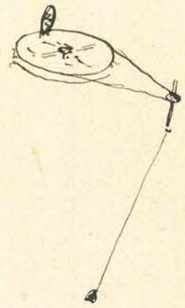
Eine grossartige Naturerscheinung auf welche die Drehung der Erde von Einfluss ist ~~und~~ ist die Richtung der Passatwinde. –

Einen practischen Beweis der Umdrehung der Erde gab Foucault in den 40er Jahren. –

Foucault's Versuch. –

Ausführung.
Etwa 3 Klafter langer Drahtseil ~~Spi~~ Spitz zugespitzter Bleiklotz unten grosser oberhalb ~~von~~ einer Kreistheilung spielend. – In Beweg. wurde das Pendel versetzt, indem es mit einem Faden in gehobener Lage gehalten, und dieser mit einer Kerze verbrannt wurde. – Dadurch Seitenstösse vermieden. –

– Erklärung des Versuchs. Verlegen wir unsern Standpunkt zum Nordpol, dann etc. – Es ist von keinem Einfluss auf die Schwingungsebene des Pendels, dass sein Aufhängungspunkt sich mit der Erde dreht. — Dies kann ich durch einen Versuch nachweisen, wie ist eine Schwungmaschine deren Axe A in Drehung versetzt wird — auf dieser Axe ist ein Pendel befestigt — dreht sich auch diese, so sehen sie dann doch die Ebene der Schwingungen unverändert bleibt. —

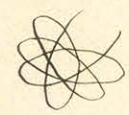


Gehen wir nun vom Nordpol (wo die Drehung von Osten nach Westen gerichtet) nach dem Aequator, so bleibt die Richtung dieser Umdrehung unverändert dieselbe, nur ist ~~dieselbe~~ die Zeitdauer derselben eine grössere. —

Die Umdrehungszeit beim Aequator ist $= 24^h$.

" " bei der Breite $\varphi = \frac{24^h}{\sin\varphi}$

Grosse Schwierigkeit der Ausführung des Versuches wegen der Ellyptischen Schwingung +). — Es wäre nothwendig kleine Amplituden zu wählen und möglichst ~~kleine Zeit~~ die seitlichen Stösse zu vermeiden. —



+) Versuch der ellyptischen Schwingung auf dem Zimmerdache ein Pendel aufgehängt etwa 7' lang unten Messingkugel. —

Foucault zeigte auch wie man die Umdrehung der Erde mit der Bohnenbergerschen Maschine ~~nach~~ nachgewiesen werden kann. — Beschreibung der Bohnenbergerschen Maschine. — Foucault-scher Versuch mit derselben. —

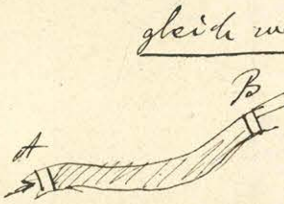
11. Nov. Gleichgewicht der Flüssigkeiten in geschlossenen Gefässen, – ~~man denke~~ die Betrachtungen für ideelle der Schwere entzogene Flüssigkeiten. – Dann für Fl. auf welche die Schwere wirkt. Das Horizontale Niveau beim Gleichg. einer Flüssigkeit die in offenem Gefässe steht. – Libellen.

Wir beschäftigten uns bisher nur mit der Mechanik fester Körper. – Die Mechanik der Flüssigkeiten nennt man Hydraulik. Sie hat zwei Abtheilungen; die Hydrostatik und die Hydrodynamik. Es giebt zwei Arten von Flüssigkeiten, welche von einander viel mehr unterschieden sind als manche feste und flüssige Körper voneinander. – Wir unterscheiden Tropfbar ~~[illegible]~~ flüssige und Gasförmige Körper. – Sie sind namentlich dadurch verschieden dass die ersten incompressibel die zweiten compressibel sind. – Diese Grenzscheide ist aber keine streng charakteristische. –

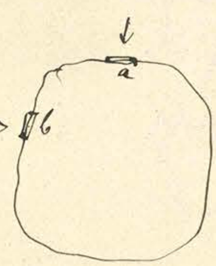
Wir beschäftigen uns mit den Flüssigkeiten. Unser Princip aus welchem wir ausgehen, ist folgendes; wenn in einer irgend wie ~~gestalteten~~ gebogenen

gleich weiter

Röhre bei A ein Druck angebracht wird, so muss in B ein gerade gleicher Druck im Falle des Gleichgewichts angebracht werden.

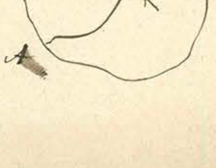


Wir werden nun das bereits ~~[illegible]~~ oft angewandte Princip II (Satz 15) anwenden. –



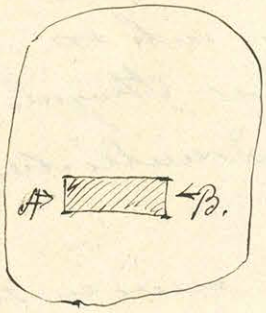
Denke ich mir ein Gefäss von beliebiger Gestalt, in dieses 2 Stempel a und b hineinreichen. – Die beiden Stempel sollen gleich gross sein. – Nach dem Princip II kann

ich nun die Röhre construiren, welche gleich weit an allen Stellen ist, und kann annehmen daß die Flüssigkeit ausserhalb dieser Röhre fest geworden sei. — Hierdurch wird nach dem Prinzipe nichts verändert. —
So ergebt sich daß der Druck auf beiden Stempeln gleich gross sein müssen. —
So kann ich nun weiter zeigen dass die Drucke auf zwei ungleich grossen Stempeln sich so verhalten wie die Oberflächen dieser Stempeln. Hierauf beruht die Wirkung der hydraulischen Presse. —
Da die Stempell beweglich sind so müssen sie für sich im Gleichgewichte sein d. i. es muss auf sie deren ~~Drucke~~ äusseren Belastung entgegen eine Kraft wirken, welche von der Flüssigkeit herrührt. — Diese Kraft nennt man den Druck der Flüssigkeit. —
Jede Flüssigkeit übt also auf die Theile der Gefässwand in dem sie enthalten ist einen ~~Kraft~~ Druck aus, welcher proportional mit der Grösse dieses Flächentheils, also auf jede Flächeneinheit der Gefässwand gleich gross ist. —
Es muss aber nicht nur ein Druck von der Flüssigkeit gegen die Gefässwand, sondern auch ein Druck innerhalb der Flüssigkeit da sein. — Ableitung dessen mit dem Prinzipe II.
Man denke sich nämlich innerhalb der Flüssigkeit eine Scheidewand AB fest geworden, dann folgt dies. —



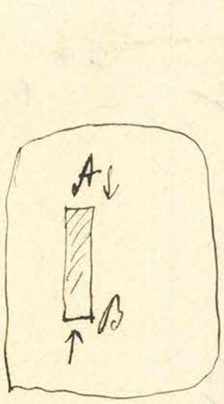
Dieser Druck auf die Flüssigkeitstheilchen im Innern ist nach allen Richtungen gleich.

Bisher betrachteten wir nur die der Schwere entzogene Flüssigkeit. — Es wird auch in einer solchen Flüssigkeit der Druck nach allen Richtungen gleich gross sein, er wird aber nicht in allen Punkten derselben gleich sein.



Es seien in A und B in gleicher horizontaler Höhe zwei gleiche Flächentheile da ich bilde mir einen Cylinder AB in diesem ist Gleichgewicht also müssen in A und B gleiche Drucke wirken.

Hieraus folgt dass die Drucke gleich sind allen Flüssigkeitstheilchen die in ~~einer hor~~ derselben Horizontale liegen. —



Nun denke ich mir eine ~~Horo~~ vertical gestellte kreiscylindrische Röhre fest geworden. — Damit diese Röhre im Gleichgewicht sei muss bei A ein Druck P wirken, bei B aber einer welcher = P + dem Gewichte der Fl. Säule AB ist. —

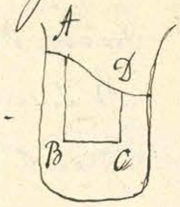
Ich werde vom Drucke in Punkten sprechen, man verstehe darunter den Druck auf die Flächeneinheit. —

Also ist der Druck in tieferen Punkten grösser als in ~~..~~ höheren. —

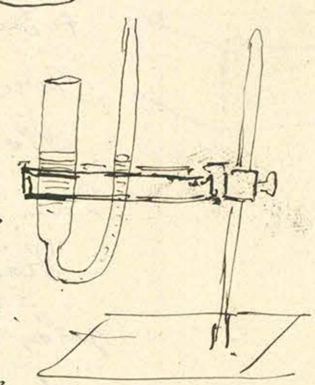
Bis jetzt dachten wir uns nur unzusammen-

schlossene Flüssigkeiten. – Ist die Flüss.
offen, so können wir nach dem Prinzip
die freie Oberfläche der Fl. erstarrt denken, wodurch
nichts in den Gleichgew. Beding. verändert
würde, in dem wir den Fall auf die vorangegangenen
zurückführten. –
Es muss jede freie Oberfläche einer nur
der Schwere unterworfenen, in einem offenen
Gefäss enthaltenen Flüssigkeit eine Horizontale
sein – Beweis: Fig.

Fig.



Ich führte diesen Beweis nur für
den Fall dass die Oberfläche nicht unter-
brochen ist. – Ähnlich verhält es
sich aber auch für unterbrochene. –
Communicirende Röhren. – Versuch.



Das Prinzip der Communicirenden Röhren
ist benützt beim Nivelliren. – Die dazu
dienende Vorrichtung ist die Kanalwage.
Beschreibung der Einrichtung und des Gebrauches
der Kanalwage. – Ihre Einrichtung erlaubt
nur geringe Genauigkeit.
Der Physiker kommt oft in den Fall die
horizontale Lage ~~zu~~ bestimmen zu müssen. –
Zu diesem Zwecke gebraucht er Libellen auch
Niveaus genannt. – Es giebt zwei Arten
derselben, die Röhrenlibelle, und die Dosenlibelle. –
Beide werden gezeigt und nebst Zeichnung auf der Tafel
beschrieben und erklärt.

Dabei Erwähnung gemacht von den Capillaritätskräften. —

Prüfung der Richtigkeit der Libelle durch Umkehrung derselben. —

Kunstausdruck: wenn die Blase einer Libelle vor die Theilung tritt so sagt man „sie spielt ein". —

---

12. Nov. Ein wichtiger Satz der Hydrostatik. +) — Ein anderer Satz: das Archimed'sche Princip.

+) Das Segner'sche Wasserrad, Dampfturbine. —

Wir sahen dass der Druck in einer der Schwere unterworfenen Flüssigkeit ~~der Druck~~ in ebenfalls allen Horizontalen Niveaus gleich sein muss. — Und zwar ist dieser Druck gleich dem Drucke auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit + dem Gewichte der über diesem Niveau stehenden Wassersäule. —

Hoher Druck bei 200' Meerestiefe — bewunderungswerth dass da noch Thiere leben. —

Dieser Druck ist – welche Gestalt auch ein innerhalb der Flüssigkeit gelegter Körper haben mag – auf die Oberflächentheile dieses Körpers senkrecht gerichtet.

? Auf jedes Flächenelement einer irgendwie gestalteten Gefässwand in welchem eine freie Flüssigkeit enthalten ist, wirkt ein Druck welcher gleich ist dem Gewichte der darüber stehenden Wassersäule, und senkrecht auf die Fläche ~~vertical~~ gerichtet ist. —

Da sich auf den seitlichen Wänden Drucke auf einer Seite nach einer auf der anderen nach der entgegengesetzten Richtung wirkten, so heben sich diese auf. Demnach bleiben nur die

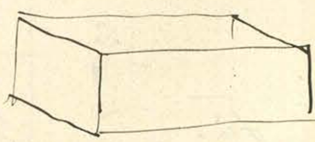
Druckkräfte auf den Boden des Gefässes als Resultante übrig. – Setzen wir die Kräfte wirklich zusammen, so werden wir sehen, dass diese Resultante durch den Schwerpunkt der ~~Körper~~ Wassermasse geht.

Also besteht der Satz:

Satz

Dass die Resultante ~~der~~ sämmtlicher Druckkräfte ~~die~~ welche eine ~~frei~~ in einem Gefässe enthaltenen Flüssigkeit ausübt vertical nach unten gerichtet ist, und gleich groß dem Gewichte der Flüssigkeit ist dass der Schwerpunkt der Flüssigkeit als Angriffspunkt dieser Resultante angesehen werden ~~kann~~ kann. –

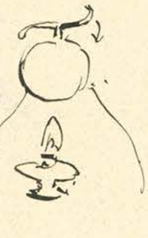
Nachweis dieses Satzes für eine rechtwinkelig begrenzte Wanne. – Blechwanne mit H_2O gefüllt, auf die Wände gezeichnet, und so erklärt. –



Nachweis des ersten Theils, des Satzes für eine irgend wie gestaltete Wanne. –

Den seitlichen Druck kann man factisch nachweisen, durch das Segnersche Wasserrad. –

Ähnlich wie Flüssigkeiten verhalten sich in Bezug auf seitlichen Druck die Gase. – Dem Segnerschen Rad entspricht die Dampfturbine. – Diese mit Alcohol gefüllt. –

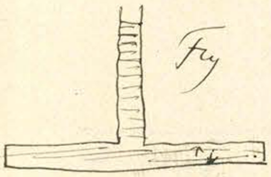


Hiermit hängt der zweite Theil des Satzes zusammen, dass nämlich die Druckkräfte eine verticale Resultante haben. – Denn hätten sie eine seitliche Resultante, so müsste eine Drehung des Segnerschen Rades auch dann eintreten wenn, die offenen Wände zu gestopft werden. –

Was aber den 2ten Theil des Satzes anbelangt so kann er so bewiesen werden. –

Eine Flüssigkeitsmenge hat, bei irgend einer Gestaltung des Gefäßes immer noch ~~d~~ dasselbe Gewicht. – Bei einer Form wie sie die Figur zeigt ist der Druck auf den Boden ein viel grösserer als ihr Gewicht. – Und zwar ist die Resultante dem Gewichte gleich. –

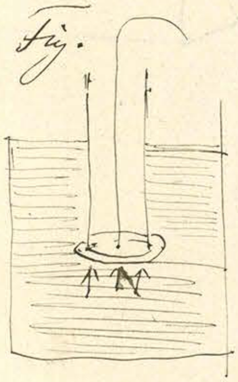
Fig



Diese Thatsache brachte Confusion in manche Köpfe, man nannte sie ~~die~~ da „hydrostatisches Paradoxon". –

Die Ursache ist das in manchen Theilen des Gefäßes der Druck nach oben wirkt – daß dies in der That möglich ist beweise ich durch folgenden <u>Versuch</u>.

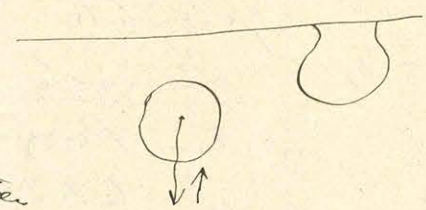
Fig.



An ein Hohlcylinder B eine Messingplatte welche dicht anschließt – ich tauche dies in Wasser ein die Platte fällt nicht, ja ich kann sogar von oben noch sehr viel Wasser draufgiessen, bis sie fällt. –

Ich werde jetzt einen Satz nachweisen.

Es sei HH das Niveau einer Flüssigkeit ich will zwei Flüssigkeits~~theile~~theile durch Ebenen deren Durchschnitte ich hier zeichne, abgrenzen



und annehmen dass diese H. Theile
fest geworden sind. — Auf diese festen
Theile wirken nun verticale Drucke. —
Die Resultante der Drucke auf jeden festen
Theil wird eine verticale Richtung nach
unten haben, Angriffspunkt = Schwerpunkt.
So sehen wir ein, dass wenn ein fester Körper
unter H_2O getaucht ist, oder in H_2O ein-
getaucht ist, so ist die Resultante der
Druckkräfte, welche das H_2O auf den festen
Körper ausübt, vertical aufwärts gerichtet,
und zwar ist er gleich gross dem Gewichte der
verdrängten Wassermasse, — sein Angriffspunkt
ist der Schwerpunkt des ~~festen Körpers~~ verdrängten Wassers. —
Dies ist das Archimedische Prinzip.
Ein innerhalb des H_2O schwimmender Körper
muss dasselbe Gewicht als das verdrängte
Wasser haben. — Schwimmen der Eisberge. —
Schwimmen des Menschen, der Fische. —
Wenn also das Gew. eines festen Körpers dasselbe
ist als das des verdrängten Wassers, so schwimmt
der Körper — er wird es doch nicht in allen
Lagen thun. — Es muss ~~immer~~ beim Schwimmen der
Schwerpunkt des festen Körpers oberhalb oder
unterhalb des Schwerpunktes der verdrängten Wasser-
masse liegen, im ersten Fall ist der feste Körper

im stabilen oder im labilen, im 2ten Falle im stabilen Gleichgewichte.

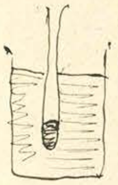
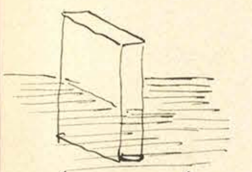


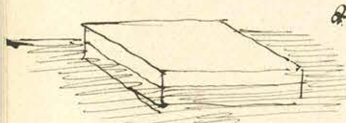
Fig 1.

<u>Beispiele</u>, als Versuche ausgeführt.
Ein Reagensglas unten mit Quecksilber ist im stabilen Gleichgewichte Fig 1) ~~ein Stück Tannenholz in Lage~~
ein Stück Tannenholz in Lage 1 Fig 2. im labilen, in Lage 2 im stabilen Gleichgewicht, trotzdem dass in beiden Fällen der Schwerpunkt des Tannenholzes oberhalb des Schwerpunkts der verdrängten Wassermasse liegt. Er wird in Lage 2. im stabilen Gleichgewichte sein, weil eben da die Hauptbedingung des stabilen Gleichgewichtes erfüllt ist dass nämlich:

Fig 2.
Tannenholz.


Lage 1. (labil.)

Wenn ein Körper durch eine Zufälligkeit aus seiner stabilen Gleichgewichtslage herausgebracht wird, so suchen die Kräfte ihn in die ursprüngliche Lage wieder zurückzuführen.


Lage 2. (stabil.)

Construction der Schiffe.
Man wendet das Archimed'sche Prinzip an die Dichtigkeit d. i. das spezifische Gewicht der Körper zu finden.
Man nennt <u>Dichtigkeit</u> die Masse welche in der Volumeinheit enthalten ist, <u>spezifisches</u> Gewicht dagegen das Gewicht der Volumeinheit.

---

13. Nov. Bestimmung der spez. Gew. fester Körper mit der hydrostatischen Wage. – Bestimmung der spez. Gew. der Flüssigkeiten mit dem Pyknometer, mit dem Aräometer.

Auf der Tafel geschrieben, stand folgendes:

Spezifisches Gewicht.	
0° Cels.	1,000000
3,9	1,000118
5	1,000103
10	0,999855
15	0,999280
20	0,998408
…	…
100	0,959678

	Spezifisches Gewicht. bei 0°C.	bei 100°C.
des Platins	22,100	22,040
" Blei	11,352	11,255
" Messing	8,395	8,347
" Quecksilber	13,598	13,351
" englische Schwefels.	1,848	1,737
" abs. alkohol	0,793	0,705

Wir sahen schon dass die Gewichte zweier Körper sich verhalten wie ihre Massen, daher verhalten sich auch die spezifischen Gewichte ~~der~~ derselben wie die Massen, also wie die Dichtigkeiten derselben. – Eben deshalb werden Dichtigk. und spezifisches Gewicht durch dieselbe Zahl ausgedrückt, trotzdem dass sie in der That ganz verschiedene Begriffe sind. – ~~Der~~ Körper zu dessen Dichtigkeit die Dichtigkeiten anderer Körper verglichen werden ist das Wasser. –

Anwendung des Archimedischen Prinzips zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes. –

Hydrostatische Waage.

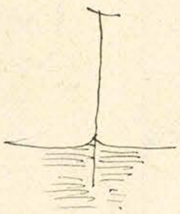
Bestimmen wir das spez. Gewicht dieses Kalkspatstückes. – Wägen wir dasselbe in Luft, es wiegt 6,65 gr.; ~~Dann in Wasser, es ist sein Gewicht~~ Wägen wir jetzt sein Gewichtsverlust, wenn es in Wasser eingetaucht wird – es ist dieser Verlust, d. i. das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers = 2,45 gr.

Das spezifische Gewicht des Wassers ist demnach $= \frac{6,65}{2,45} = 2,7$.

Die Wägung der Körper in Wasser kann nicht mit derselben Genauigkeit, als in Luft ausge- ?

pilirt werden. – Eine Hauptfehlerquelle bieten die an den Körper festhaftenden Lufttheilchen. Von dieser Fehlerquelle kann man sich in den meisten Fällen, wo nämlich die Körper eine Erwärmung auf 100° ertragen, frei machen. Von einer andern Fehlerquelle indess kann man nicht frei werden. – Ich hatte schon bei der Libelle die Wirkung der Capillarenkräfte zu erwähnen. – Diese sind nun auch hier wirksam – es bildet

+m. sich nämlich bei dem eingetauchten Drahte ein Wasserberg.



Wäre dieser Wasserberg bei beiden Wägungen derselbe, so wäre er von keinem fehlerhaften Einfluss – die Schwankungen der Capillarenkräfte erlauben aber diese Annahme nicht. –

Um den Fehler in Folge des Flüssigkeitsberges möglichst klein zu machen, muss man den Berg selbst möglichst klein machen, was wohl erreicht wird, wenn der ~~Faden~~ Draht sehr dünn ist. =

Spezifische Gewichte sind bei verschiedenen Temperaturen verschieden – deshalb muss man immer auf die Temperatur Rücksicht nehmen – Dies zeigt auch dass das spezifische Gewicht des Wassers, ohne Angabe der Temperatur noch keine Einheit des spez. Gewichtes sein kann. – Diese Einheit ist aber conventionell das spez. Gew. des Wassers bei 15° C. – Würde man das

Spez. Gewicht des Messings z. B. bei 20 Grad bestimmen so erhielte man:

$$\frac{\text{Gewicht des Messings}}{\text{Gew. Verlust in } H_2O \text{ von } 20^\circ} = 8,39 = \frac{\text{Sp. Gew. des Messing bei } 20^\circ}{\text{Sp. Gew. des Wassers bei } 20^\circ} = $$ Spez. Gew. des Messing bei 20° bezogen auf Spez. Gew. d. H_2O bei 20° als Einheit

Das Spezifische Gew. des Wassers bei verschiedenen Temperaturen ist ein für allemal sorgfältig bestimmt (siehe Tafel). Demnach würde

$$\frac{m_{20}}{w_{15}} = 8,39 \cdot 0,998408 = $$ Spezifisches Gew. des Messings bei 20° sein bezogen auf die gewöhnliche Einheit.

Tabellen auf der Tafel.

Diese Methode ist nur für in Wasser unlösliche Körper anwendbar, ~~so~~ das Spez. Gew. solcher Körper welche aber in H_2O löslich sind könnte man nur auf anderem Wege finden. Nämlich dadurch dass man den Gew. Verlust des festen Körpers in einer anderen Flüssigkeit bestimmen würde in welcher er unlöslich ist. Die Bestimmung des Spez. Gew. fester Körper führt uns demnach schon zur Best. des Spez. Gewichtes der Flüssigkeiten. — Diese könnte wohl ~~dadurch~~ bestimmt werden dass man einen unlöslichen Körper zuerst in Luft, dann in Wasser dann in ~~einer~~ ~~dritten~~ der fraglichen Flüssigkeit wägen ~~würde~~, und hieraus das Spez. Gew. der Flüssigkeit ~~[illegible]~~ berechnen würde. —

Man kann aber mehr directere Methoden anwenden. –

Füllen wir ein Flasche bis zu einer gewissen Linie am Halse, zuerst mit H_2O dann mit der Fl. und wägen diese beiden füllen, (wenn auch die leere Flasche) so haben wir das sp. G. ermittelt. Auch hier ist tretet eine Fehlerquelle in Folge der Capillarität auf – dieser Fehler wird um so kleiner je ~~kleiner~~ kleiner der Durchmesser des Halses der Flasche ist. – Direct eine Flasche mit sehr engen Halse zu füllen ist unmöglich – dies erklärt die Nothwendige Einrichtung der Pyknometer, Beschreibung, und Vorzeigung der Methode. –

Wie gesagt haben wir auf die Temperatur zu achten, daher construirt man Pyknometer mit Thermometer (Beschreibung, Vorzeigen)

Pyknometer kann man auch dazu anwenden, das spec. Gew. kleiner fester Körper zu bestimmen.

Methode:

Es sei das Gewicht des in Luft gewogenen Körpers = F

Pyknometer mit H_2O gefüllt = P

Pyknometer mit H_2O und dem Körper gefüllt = P'

Bei der Füllung mit dem festen Körper sind die Luftblasen durch Kochen, oder mit der Luftpumpe zu entfernen.

Das Gew. der Wassermasse, welche dasselbe Volum als der feste Körper einnimmt ist $= P+F-F'$

Also ist Das spez. Gew $= \dfrac{F}{P+F-F'}$

Diese Methoden der ~~Beste~~ Bestimmung des spez. Gew. setzen den Gebrauch der Wage voraus.

Es giebt auch noch andere Methoden, welche dasselbe leisten. – Es sind dies die Senkwagen, d. i. Areometer – dieselben stützen sich auch auf das Archimedische Princip. –

Manche der Areom. sind mit Gewichten benützbar, es sind dies die Gewichtsareometer.

Andere sind mit einer Scala versehen, das sind die Scalenareometer.

Eine Art der Gewichtsareometer ist das Nicholson-sche. (Beschreibung, Vorzeigen). Methode der Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten mit dem Nich. Areom.

a Gewicht des Apparates. b, Gewicht welches ich oben auflegen muss, damit der Apparat in Wasser bis zur Marke sinkt. – c Gewicht das ich ~~auflegen~~ auflegen muss, damit das Areom. in einer anderen Flüssigkeit bis zur Marke sinke dann ist

$$\text{Spez. Gew} = \frac{a+c}{a+b}.$$

a und b sind ein für allemal bestimmt. Eine einzige ~~Be~~ Bestimmung, nämlich die von c genügt also um die zur Bestimmung des spez. Gew. einer Flüssigkeit nöthigen Data zu gewinnen. –

86

Einfacher zu Handhaben, aber auch ungenauer, und wegen der ersten Eigenschaft in der Technik daher verbreitet sind die Scalenareometer.

---

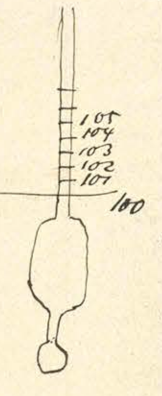
15 Nov. Scalenareometer, Alcoholometer, Zusammenziehung des Wassers und Alcohols beim Mengen derselben. – Gleichgewicht zweier übereinander geschichteter Flüssigkeiten, – Barometer.

Auf der Tafel:

Capillar-Depression

2 m.m. Durchmesser	–	4,89
4	———	2,07
6	———	1,13
10	———	0,41
15	———	0,12
20	———	0,03

Beschreibung, und Vorzeigen eines Scalenareometers. Scaleneintheilung derselben. – Bei manchen Areometern sind die Scalentheile gleich weit von einander abstehend (Fig 1), dieselben zeigen dann Volum des eingetauchten Theiles an. – Man nennt diese Volumareometer. –



Dabei ist der Theilstrich 100 so gewählt dass das Instrument bei in Wasser bis zu demselben ~~[illegible]~~ eintaucht. ~~Ist~~ Ist dann der Theilstrich bis zu dem es in eine Flüssigkeit eintaucht a, so ist das spez. Gew $= \frac{100}{a}$

Diese kleine Rechnung kann schon der Verfertiger ausführen, indem er dann statt der Zahl a gleich $\frac{100}{a}$ anschreibt.

Bei dieser Einrichtung sind die Areometer nur für Flüssigkeiten brauchbar welche ein ~~grösseres~~ kleineres spec. Gewicht haben als Wasser ähnliche mit umgekehrter Scale sind die Areometer für die Bestimmung des spec. Gew. dichterer Flüssigkeiten. –

In der Technik hat man oft Bestimmungen von spec. Gew. machen z. B. bei der Bestimmung des Procentgehalts an Alcohol, an Salz, etc. Daher sind speciell Alcoholometer etc. da, welche eine Scale haben, welche direct die Procentangabe giebt.

Eine Bemerkung an das Alcoholometer. – Man könnte meinen dass das Verhältniss zwischen Alcoholgehalt und Dichtigkeit sehr einfach ist. – Ist a das ~~Menge~~ Gewicht des Alcohols b – das des Wassers, dann ist das Gewicht der Mischung $= a.0{,}793 + b$, da ja das spec. Gew. des Alcohols $= 0{,}793$ ist; theoretisch würde dann das spec. Gewicht des Gemisches

$$s = \frac{a.0{,}793 + b}{a+b}$$ sein.

Die Erfahrung bestätigt dies nicht, und giebt einen Beweis der Zusammenziehung der Flüssigkeiten bei der Mengung. – Wir wollen einen Versuch machen. – Hier ist eine lange Glasröhre von etwa 1 Meter Länge und 1 Centimeter Durchmesser ich fülle dieselbe erst bis zur Hälfte mit Wasser, dann mit Alcohol,

88

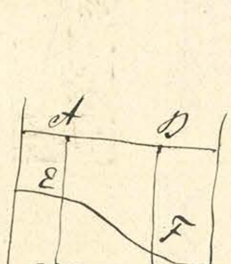
so aber dass beide noch getrennt seien — dann schliesse ich es mit dem Stöpsel so dass die Röhre keine Luft, nur beide Flüssigkeiten enthalte. — Nun kehre ich die Röhre um, die beiden mengen sich, es entsteht ein leerer Raum — dieser leere Raum beträgt etwa 3/100 der Röhre, also geben 50 Theile Alcohol gemengt mit 50 Theilen Wasser 97 Theile des Gemisches. — Es steigen dabei Luftblasen auf, Erklärung derselben+). —

Baumé's Alcoholometer.

Nochmals Bemerkung über Areometer.

Sollen die Messungen scharf sein, so muss man auch die Temperatur kennen, daher construirt man Areometer mit Thermometern — (Beschreibung, Vorzeigen). —

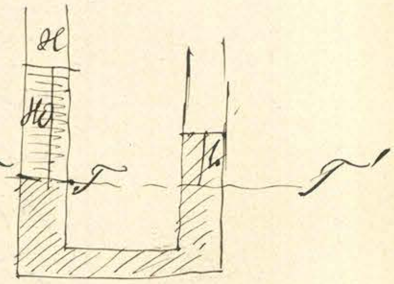
Betrachten wir das Gleichgewicht zweier Flüssigkeiten, welche über einander liegen — die obere muss horizontal sein, denn ich kann die untere Flüssigkeiten fest geworden denken, und gelange dann zu diesem Schluss.



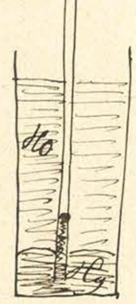
Welche ist aber die Gestalt der Grenzfläche? Es sei die Horizontale oberhalb AB keinem Drucke ausgesetzt. — Construiren wir den Kanal ACDB, so wird uns der Satz dass beim Gleichgewichte in C und D gleiche Druckhöhen sein müssen, zu dem Schlusse führen, dass dies nur dann möglich ist ~~wenn~~ wenn EF eine

+) Fast jede Fl. absorbirt in der Luft stehend Luft, verschiedene Flüssigkeiten haben aber eine verschiedene Kraft Luft zu verschlucken, — so kann das Gemenge von Alcohol und H2O weniger Luft absorbiren, als die Bestandtheile. —

Horizontale ist. –
Wenn dieß ist, so ist das Gleichgewicht da, es kann aber noch stabil oder labil sein. –
Labil ist es, wenn die untere Flüssigkeit die leichtere ist. –
Ich nahm an dass die Oberflächen beider Flüssigkeiten ununterbrochen sind. –
Jetzt nehme ich communicirende Röhren, in deren einem Ende nur ~~Hg~~, im andern ~~…~~ H_2O über Hg vorhanden ist.
Es sei TT die Trennungsebene; ich verlängere sie bei T', dann sehe ich dass die Höhen H und h sich umgekehrt verhalten wie die spec. Gew. der entsprechenden Flüssigkeiten.



Sehen sie hier führe ich das Experiment aus.
Ich führe das Experiment in eine andere Form aus. – Das Gefäß A ist bis etwa mit Hg gefüllt, ich tauche die oben offene lange Röhre R hinein, dann gieße ich in das äussere Gefäß auf das Hg noch H_2O – sie sehen das Hg steigt in der inneren Röhre.



Dieser Versuch gibt eine Vorstellung des Vorganges, der bei einem Barometer stattfindet. – Ich will das Wasser im Gefäße mit der Atmosphäre vergleichen. – Hätten wir eine Röhre deren oberes Ende an der Grenze der Atmosphäre hinausreichen würde, so müsste auch darin das Hg. gehoben werden. – Dies Exp. ist nicht ausführbar; ich kann es aber modificiren. Schmelze ich nämlich die Röhre im Wasser zu, so wird die gehobene Hg ungeachtet dableiben. –

Hier habe ich eine Röhre gefüllt mit Hg. ich halte sie zu, tauche sie in Hg, öffne, sehen wie es fällt, dadurch aber, trotzdem das keine Luft eintreten konnte. – Wir haben hier eine Vorrichtung welche dazu dienen kann den Druck der Atm. Luft zu messen. –

Oben ist der Druck wirklich Null, also folgt, dass etwa auf einen Quadratzoll ein Druck von der Atmosphäre wirkt, welcher gleich ist dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe und 1 Quadratzoll Durchschnitt, d. i. = ungefähr 15 Pfund. –

So eine Vorrichtung, wenn sie mit Scale versehen ist, nennt man Barometer. Die Entdeckung des Barometers verdankt man Toricelli. – Man kannte zwar schon vor Toricelli manche Erscheinungen bei welchen der Atm. Druck wirksam ist, so kannte man die Saugerscheinungen, wandte schon Heber, Pumpen an; man erklärte jedoch diese Erscheinungen mit Hilfe des Prinzips vom Horror Vacui. Ein Zufall zeigte dass dies Prinzip falsch ist. Geschichtliches.

Toricelli erklärte dann die Erscheinung von dem atmosph. Drucke herrührend, er erklärte auch dass die gehobene Flüssigkeitssäule umgekehrt proportional mit dem spezifischen Gewichte wäre. – Er machte dann zur Prüfung seiner Theorie den Versuch, wie ich ihn anstellte. – Ob die Röhre gerade, ob sie überall denselben Querschnitt hat ist durchaus einerlei. Nur ein Bedingung muss für die Gestalt bei einem richtigen Barometer erfüllt sein, es muss das Barom. nicht zu ~~enge~~ enge sein. –

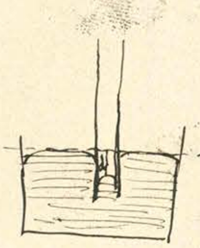
Vermeidung der Capillaren Depression ist eine nothwendige Bedingung eines guten Barometers. – Verfertigen des Barometers. Nonius. – Beschreibung eines Gefässbarometers, eines Röhrenbarometers. – Formel aus dem direct abgelesenen Barometerstande den Barometerstand bei 0° zu berechnen. – 16 Nov.

Auf der Tafel: Capillare Depression wie gestern.

Apparate: Auf der Wand aufgehängt: ein Höhenmessungsbarometer, ein ~~Normal~~ Gefässbarometer, ~~ein~~ Tisch: eine gebogene Barometerröhre wie sie Bunsen in den barometrischen Methoden benützt, ein Aneroid, eine oben zugeschmolzene Glasröhre mit Hg. gefüllt in eine Hg Wanne getaucht zur Demonstration des Barometers, ein Modell zur Demonstration des Nonius

Kathetometer, Apparat zur Demonstration des Mariotte-Gay Lussac-schen Gesetzes.

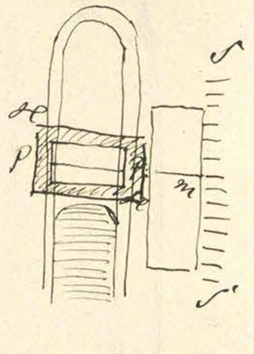
Die Barometerröhre darf nicht zu enge sein, um sie von den Fehlern in Folge der Capillaren Kräfte zu befreien. – Der Name Capillar rührt von dem evidenten Auftreten der Erscheinung bei Haarröhrchen. – Tauche ich eine Glasröhre in Hg, so wird die Hg oberfläche folgende Form annehmen, ja es wird sogar im Innern das Hg tiefer stehen. – Die Höhe d. nennt man Capillare Depression. Hier sehen sie die Tafel:



Sie sehen wie gross diese Depression bei einem Barometer von 2 mm Durchmesser wäre. – Wären diese Angaben zur strenge richtig, so könnte man Bar. von so engem Durchmesser verfertigen, und die Depression stets hinzuaddiren. – Die Angaben sind aber sehr schwankender Natur. –

Hat man ein Bar. Rohr ausgesucht so muss man es mit Hg füllen. – Das Hg muss rein sein, denn wäre es unrein, so wäre sein spez. Gew. also die Höhe der Hg. Säule von der theoretischen verschieden. – Ein ferneres Grund dafür, reines Hg zu nehmen ist die Rücksicht auf Reinlichkeit. – Um das ~~Salpetersaure~~ Hg von Metallischen Beimengungen zu befreien schüttelt man es mit NO_5. – Ausser den Metallischen sind aber noch Lufttheilchen im Hg enthalten, diese würden im Barometer in den leeren Raum aufsteigen.

Aus diesem Grunde muss man das Hg aus-
kochen – Noch könnte bei der Füllung zwi-
schen der Glaswand ~~an~~ und dem Hg Luft
und Feuchtigkeit haften bleiben – um auch diesen
Fehler zu vermeiden kocht man das Hg. in
der Röhre selbst. –
Auskochen einer Barometerröhre. +)
Dann kehrt man es um, öffnet unter Hg. und bringt
die Scale an. –
Der Nullpunkt soll gerade in dem Niveau
des unteren Gefässes liegen. – Barometer mit
verschiebbaren Scalen. – Einstellung der Spitze
auf das untere Niveau mit dem Spiegelbilde. –
Ist diese Einstellung gemacht, so muss die Able-
sung des Quecksilbers in der Röhre gemacht
werden. – Wie geschieht dies, erkläre folgende Zeich-
nung: – P.P Pferdehaare in einem Niveau mit der Mar-
ke m. – S S = Scale, HH ~~zu~~ Metallhülse, durch-
brochen – Fehler der Parallaxe. – Die Einrich-
tung um diese zu vermeiden, ist die dass auch
hinten ein Pferdehaar ~~in~~ in gleicher Höhe ausgespannt ist.



Die Scale bei diesem Barometer ist in ganze Pariser
Linien getheilt, nichts destoweniger kann man
ungefähr sehr genaue Ablesungen machen; es
ist dies mit einem Nonius erreicht. – Nonius
ist ein bei physikalischen Messungen sehr ge-
bräuchlicher Apparat – sein Hauptvortheil ist
die Bequemlichkeit der Ablesung.
Hier haben sie ein Model des Nonius

+) Das Auskochen geschieht folgendermassen, man füllt etwa ein Viertel der Barometerröhre mit Hg und kocht dasselbe aus. – Würde man die Röhre ganz füllen, und so auskochen so würde man die Gefahr laufen, eine Explosion zu bekommen. – nachdem diese kleine Hg Menge ausgekocht ist, lässt man es abkühlen, und füllt dann auf dieselbe eine zweite Portion Hg, welche erwärmt und etwas wärmer als das bereits ausgekochte in der Röhre enthaltene Hg Menge sein muss. – Wäre diese letzte Bedingung nicht erfüllt so, würde das untere wärmere Hg aufsteigen, und sich mit dem oberen mengen, so dass die bis dahin gemachte Arbeit umsonst gemacht wäre. ..

97 Da ist die fixe Scale, neben ihr der verschiebbare Flügel. – Einrichtung des Nonius. – Zwei Arten der Nonius, nämlich Nonius wo die feste Scale a Theile, der Nonius in gleicher Länge a+1 Theile hat, und Nonius wo auf a Theile der Scale a−1 Theile des Nonius folgen. –

Will man mit dem Nonius auf $\frac{1}{n}$tel der fixen Scale ablesen, so muss man ihn auf n Theile der fixen Scale in n−1 oder in n+1 Theile theilen.

Der Werth den die Ablesung eines Scalentheils des Nonius giebt ist

$$1-\frac{n-1}{n}=\frac{1}{n} \quad \text{oder} \quad \frac{n+1}{n}-1=\frac{1}{n}.$$

Dies war ein Gefässbarometer, hier ist ein Röhrenbarometer (Bunsen. Gay.). –

Hierbei Scale direct auf's Glas geätzt. – Den Fehler der Parallaxe vermeiden wir hier durch Anwendung eines ~~Kathetometers~~ Fernrohres welches sich selbst parallel verschoben werden kann. – Es ist gleichgültig ob das Rohr horizontal ist oder nicht, nur muss es sich selbst parallel verschoben werden können. –

Im Barometer ist stets ein Thermometer gestellt, es ist dies nöthig um den Luft~~feuchtigkeit~~druck richtig bestimmen zu können. – Es ist aber auch schon dann nöthig um den wahren Barometerstand abzulesen – es dehnt sich nämlich die Scale aus. – Den Druck aus dem Bar. Stand zu folgern.

wird auch nur dann möglich sein, wenn das Spec. Gew. der Säule, d. i. seine Temperatur bekannt ist. – Man pflegt die Säule sowohl als den Barometerstand auf 0 Grad zu reduziren. – Besteht die Säule aus Messing, damit der auf 0 reducirte Barometerstand b_0

$$b_0 = b(1 - 0{,}00016t)$$

wo b der unmittelbar abgelesene Barometerstand ist. –

Ist die Säule aus Glas so ist:

$$b_0 = b(1 - 0{,}00017t)$$

---

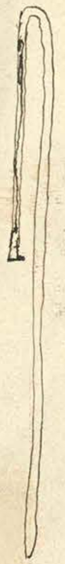
17 Nov.

Tafel:	Höhe	Bar. Stand
St Bernard	7650'	21"
Aetna	10300	19"
Montblanc	14600	16
Chimborazo	20100	13

Gefahren beim Transport eines Barometers, 1) dass Luft durch den unteren Schenkel bei Schwankungen eintritt 2) dass beim starken Anschlagen oben das Glas zerschmettert wird.

Daher muss man beim Transport ~~oben~~ die Röhre neigen so dass oben sich anschlägt. –

Es kommt oft vor, dass man Barometer auf Reisen mitnimmt, da man ja damit Höhen bestimmt. – Beschreibung, Vorzeigen eines Heberbarometers.



a.

Ich transportire in der Stellung a., muss es dann vor dem Schrauben nach der Richtung des Pfeiles umkehren; würde ich das Gegentheil thun, so könnte eine Luftblase aus dem kürzeren Schenkel eindringen. —
Ich erwähne hier noch andere Barometer welche zwar bei Reisen bequem aber ungenauer sind. —
Es sind dies die Aneroidbarometer. —
(Beschreibung Vorzeigen Fig.

Fig.

Der Übelstand ist der dass sich das Metall mit der Zeit verändert, namentlich wenn der Druck innerhalb weiter Grenzen ändert. —

Barometer sind sehr verbreitet, ja in jedem Haushalt als Wetterglas vorhanden. —
Bald nach Toricelli's Erfindung fasste man den Gedanken dass die Veränderungen des Druckes mit den Änderungen des Barometerstandes in Verbindung sei. — Dabei dachte man sich dass Eintreten von nassem Wetter ~~durch~~ Steigen dass Eintreten von trockenem Wetter durch Fallen angekündigt wäre, im ersten Falle müssten nämlich Wasserdämpfe ankommen im 2ten Falle aber entfernt werden. —
Es zeigte aber die Erfahrung dass es gerade umgekehrt sei. —
Südwest wind, und Nordost wind Dämpfen

Experim. Physik V.

hier in unseren Klimaten. – Südwest Wind kommt vom atlantischen Ocean, enthält Wasser, ~~wenn er kommt~~. er bringt uns wärmere also leichtere Luft mit, daher fällt das Barometer und es regnet. – Wenn statt dem Aequatorial Strom, der Polar Strom herrscht, so tritt das entgegengesetzte ein. –
Diese beiden Strömungen

In den Tropen sind diese Strömungen von kleinem Einfluss. – Unter den Tropen treten täglich 2 maxima und 2 Minima ein. um

~~Der~~ Unterschied zwischen Max. und Mini. beträgt nicht mehr als 2 mm, trotzdem kann nach Humboldt ~~man~~ wegen ihrer grossen Regelmässigkeit aus dem Bar. Stand die Stunde ablesen. –
Diese regelmässigen Variationen können bei ~~uns~~ nicht direct, nur durch Durchschnittszahlen von Beobachtungen zur selben Stunde, in verschiedenen Tagen nachgewiesen werden, d~~ieser~~ Unterschied zwischen Max. und Mini. beträgt daher in Paris 0,8 mm.
Eine getheilte Hg. Säule wird nicht nur zur Messung des Atmosph. Druckes sondern auch zur Messung des Druckes innerhalb eines

zusammengedrückten Gases be~~stimmen~~nützt werden können.
Dies wird uns ein Mittel geben um die Änderungen des Druckes ~~innerhalb~~ eines Gases zu bestimmen welche den Änderungen des Volumens desselben entsprechen. –

Beschreibung des Apparates zur Ableitung des Mariotte-schen Gesetzes (Siehe

Ich will hier eine Versuche ausführen –

Als Einheit des Volumens nehme ich das Volum an, welches zwischen zwei Teilstrichen enthalten ist. Als Einheit des Druckes 1 Atmosphären Druck also. –

v	p	Dicht.
12.	1	1
9	$\frac{4}{3}$	$\frac{12}{9}=\frac{4}{3}$
8	$\frac{3}{2}$	$\frac{12}{8}=\frac{3}{2}$

Die Scale der offenen Röhre ist in Zolle getheilt. –
Die geschlossene Röhre von Nullpunkt bis oben in 12 Theile. –
Einheit der Dichtigkeit die der atmosphärischen Luft.

Bei den von mir gewählten Einheiten sind also ~~Volumina~~ Druck und Dichtigkeit ~~gleich~~ durch dieselben Zahlen ausgedrückt, bei anderen Einheiten würden sie proportional sein. –

Mariotte-sches Gesetz

Bei der gebrauchten Vorrichtung konnten wir das Mariotte'sche Gesetz nur für grössere Drucke als 1 Atm. Druck nachweisen; ich will es nun für kleinere Drucke nachweisen.

Beschreibung des dazu dienenden Apparates (Dicke Wände der Scale mit Volltheilung, aus dickem Karton. —

Ähnliche Versuche kann man mit anderen Gasen ausführen.

Mariotte stellte selbst Versuche mit verschiedenen Gasen an, und fand sein Gesetz bis auf Drucke von 8 Atmosphären vollkommen bestätigt. —

<u>Mariotte</u> hatte seine Versuche nicht mit sehr großer Sorgfalt ausgeführt als sich es bei trat, er nahm als Maass des Volumens die Länge der Röhre an, ohne dass er dieselbe calibrirt hätte. —

<u>Arago</u> u. <u>Dulong</u> untersuchten das Mariotte Gesetz schärfer. — Sie prüften die Röhre in Bezug auf die Gleichmässigkeit ihres Querschnitts und calibrirten dieselbe. —

Was ist, wie verfährt man beim Calibriren —
(K. machte es selbst vor, ähnlich wie in Bunsen. Gas. meth.)

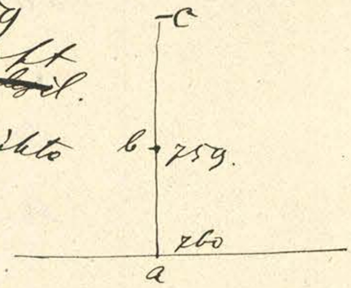
Eine 2te Fehlerquelle Mariotte-s beruht auf den Wasserdampf den die Luft stets enthält. Wasserdampf folgt wie man es schon früher kannte nicht dem Mariotte-schen Gesetze. — ~~Die~~ Nasse Luft wird daher diesem Gesetze auch nicht folgen. —

Arag. u. Dul. wendeten aber trockene Luft an.

Entweichen des Wasserdampfes durch Abla..
Man wusste auch dass das Volumen der Gase
sich mit der Temperatur ändert — daher
musste hier die Constanz der Temperatur
bewirkt werden. — Und zwar muss man
darauf um so mehr achten, dass in dem
Zusammendrücken eines Gases ein Grund ihrer
Erwärmung liegt. —

Mariotte gieng nur bis zum Drucke von 8 Atmosphären, Arago u. Dulong wollten bis 27 Atmosphären gehen. —
Vorrichtung welche Arago und Dulong benützten.
Bei aber vielen Gasen fanden Arag. und Dulong keine Abweichungen; sie fanden aber solche immer, wenn sie Gase untersuchten welche nahe ihrem Condensationspunkte waren —
In neuerer Zeit machte Regnault noch sorgfältigere Versuche, und fand dann sogar die trockne atmosphärische Luft und alle Gase von dem Mariotteschen Gesetze abweichen. — Das Product pv. ~~...~~ ändert sich bei gesteigertem Drucke durch Verkleinerung, nur beim Wasserstoffgas wird das Product grösser. —
Die Kenntniss des Zusammenhanges zwischen Druck und Volumen eines Gases, kann uns

auch befähigen Schlüsse über die Änderungen
des Druckes in der Atmosphäre zu ziehen. –
Würde man sich eine Taucherglocke in die
Tiefe des Meeres sinken so würde der Druck
in derselben dazu dienen können die Tiefe
zu bestimmen. – Ähnliches Geschieht in der Luft.
Angenommen es wäre der Barometerstand
bei a gleich 760 Millimeter, bei b nur 759
Millim., so ist das Gewicht einer ~~Quecksil~~ Luft-
säule von der Höhe ab gleich dem Gewichte
einer ~~Luft~~ Hg säule von 1 mm. Höhe und von
gleichem Querschnitt. –



Man könnte demnach wenn die Dichtigkeiten
bekannt sind diese Höhe ab berechnen –
Das spec. Gew. des Quecksilbers wir noch nicht
zu bestimmen, vorgreifend gebe ich an, dass
das spec. Gew. der trockenen Luft bei 760 mm.
Druck und 0° Celsius $\frac{1}{773}$ ist. –
So ergiebt sich durch Rechnung für die Höhe
ab = 10,511 .. –
Steigen wir noch höher so werden wir in
c einen Punkt erreichen in welchem der Druck
= 758 mm. ist. – Die Höhe ac wird aber von
ab verschieden sein müssen, da zwischen
c und b die Dichtigkeit schon kleiner als zwischen
b und a ist. –

So kann man weiter steigen.

Mit Hülfe der höheren Mathematik lässt sich der Barometerstand aus der Höhe unmittelbar ableiten:

h = Höhe b = Barometerstand, so ist

$$h = 18394^{m} \cdot \log \frac{760^{mm}}{b}$$

Hiebei ist angenommen dass der Barometerstand im untersten Niveau von welchem aus h gerechnet wird, gleich 760 mm. ist. –

Ist der Bar. Stand aber unten nicht = 760 mm, sondern etwa b_0, so ist:

$$h = 18394^{m} \cdot \log \frac{b_0}{b}$$

Ist aber die Temperatur nicht = 0, so ändert sich das spez. Gew. der atmosphärischen Luft, da wird also die Gleichung nicht gelten können. – Wenn die Atm. Luft von 0° auf T° erwärmt wird, so wird sein spezifisches Gewicht = $\frac{1}{1+0,00366\,T}$

Also

$$h = (1+0,00266\,T)\, 18394^{m} \cdot \log \frac{b_0}{b}$$

Diese Formel nimmt noch an, dass die Temp. gleich ist in verschiedenen Höhen, dies ist nicht der Fall sie ändert sich und zwar nach noch sehr unpräcisirten Gesetzen. – Ist aber t_0 die Temp. an der unteren Beobachtungsstation, t die Temperatur an der oberen, so ist:

$$h = (1+0{,}00366\,\frac{t_0+t}{2})\,18394^m \log \frac{b_0}{b}$$

Auch diese Formel ~~ist~~ macht noch eine nicht erfüllte Annahme, nämlich die dass die Atmosphäre in Ruhe ist – daher würde wo keine mittleren Barometerstellungen ermittelt werden können, an beiden Stationen gleichzeitige Beobachtungen machen. – Die Formel nimmt auch auf den Wassergehalt keine Rücksicht. –

Barometrische u. trygonometrische Messungen stimmen doch ziemlich überein, daher finden barometrische Höhenmessungen noch einige Berechtigung. –

Seht die Tafel!

Der Luftdruck, den wir früher vernachlässigten übt einen grossen Einfluss auf die Gleichgewichtslage der Flüssigkeiten.

Wie ist eine Glocke mit HO gefüllt, sich kehre die unter Wasser um, das HO fliesst auch nicht aus, – diese Wassermasse könnte die Höhe von 32 Fuss haben ohne herauszufliessen, ziehe ich es heraus so tritt Luft ein das HO fliesst aus; könnte ich aber die Glocke mit HO so ausziehen, dass unten eine horizontale ~~Fläche~~ Ebene sei, so müsste das Wasser im Gleichgewicht bleiben. –

Wir sahen dass die Gl. Bed. zweier übereinander stehender Flüssigkeiten die ist, dass ihre Trennungsfläche eine horizontale Ebene sei – wir sahen auch dass dies Gleichgewicht stabil ist wenn die ~~[illegible]~~ dichtere Fl. unten ist, und labil ist im anderen Falle. –

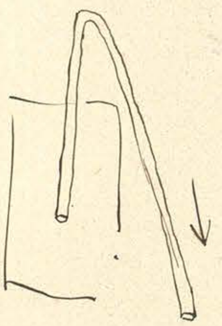
Hier haben wir also einen Fall des labilen Gleichgewichtes.

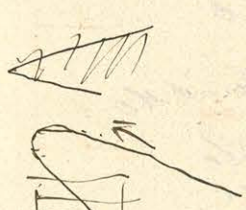
Versuch mit einem Glase gefüllt umgestülpt darüber ein Papierblatt. –

Ähnlich verhält es sich auch mit einer Pipette, bei dieser ist aber das Gleichgewicht,

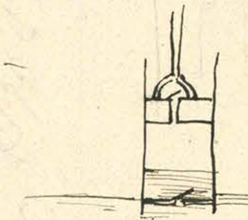
+) in Folge der Capillaren Kräfte ein stabiles.

Rolle des Atmosphärischen Druckes beim Heber Versuch. –





Apparate: Am Nebentisch: Modell einer Feuerspritze. Windbüchse. — Modell eines Brunnens. —
Am Tische Model: einer , einige Spritz-flaschen. — Schläuche. — In der Figur abgezeichneter Apparat. Apparat zum Zusammendrücken der Luft. —



Ich will jetzt die Einrichtung einer Pumpe beschreiben — Pumpen bei den Brunnen. — (Beschreibung Fig gezeichnet. — Vorzeigen des Model, Erklärung des Model durch Figur 2. — Das Model besteht aus 2 Glascylindern durch Metall Fassung und Leder Manschetten an einander gepresst.) Solche Pumpen nennt man Saugpumpen. Man unterscheidet von diesen die Druckpumpen. — (Fig 3). — Ich kann das Model der Saugpumpe leicht in eine der Druckpumpe verwandeln. — Ich verschliesse das ~~Saug~~ obere Ventil —, und lege die Röhre R an. — Das Ventil bei a ist ein Kegelventil, siehe Fig 4. — Das Saugventil b ist dagegen ein Klappenventil, wie sie es hier sehen können. —

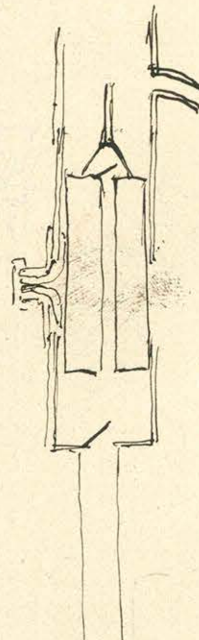


Fig 2.

Der bei dieser Druckpumpe ausfliessende H_2O Strahl fliesst so lange der Kolben nach unten bewegt wird; versiegt aber sobald er nach oben bewegt wird. —

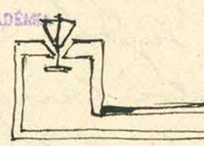


Fig 4.

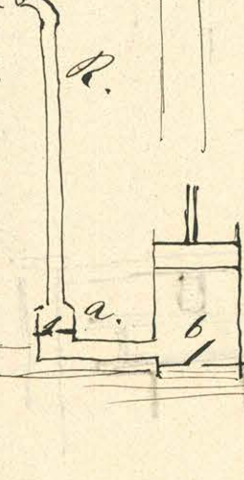
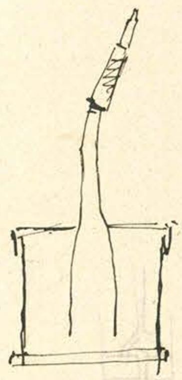


Fig 3

Bei Spritzen muss es anders sein —
Es wird dies durch die Windkessel erreicht,
wir sehen sie ein Model davon. —
Dies Model passt in dem Apparate Fig
2. — Ich will ihn ausschrauben und die Stellung dann demonstrieren. —
Dabei beim Fenster hinaus stellenweise auf Asphalt gespritzt, siehe Figur. —

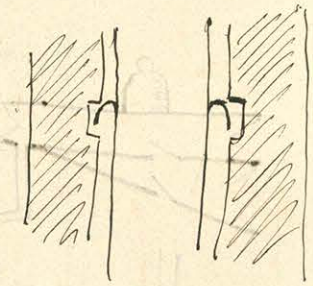


Fig

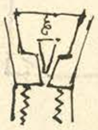
Dem Prinzip des Windkessels ähnlich ist der des __Heronballs__.
Ähnlich ist der Vorgang bei der Spritzflasche.
Bei Spritzen, mit Windkessel wie ich sie beschrieb so ist zwar der Strahl nicht unterbrochen verändert aber doch ihre Gestalt. —
Diesen Übelstand muss bei Feuerspritzen ~~verm~~ vermieden werden; Feuerspritzen sind deshalb mit zwei ~~Windkesseln~~ Pumpen versehen, die in denselben Windkessel pumpen. —
Hieran knüpfe ich das Vorzeigen eines Models der Hydraulischen Presse.
Eine hydraulische Presse ist eine __Druckpumpe__.
Beschreibung. — Als Versuch ein Holzbrett zerbrochen. —

Die Hauptschwierigkeit bei der Verfertigung des Apparates ist den Manschetten genau

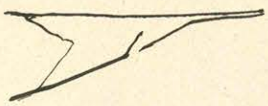
Cylinder in den Hohlcylinder eng einpassend
zu versetzen. —
Diese Aufgabe gelang zuerst Bramah, daher
der Name Bramah-sche Presse. —
Einrichtung von Bramah. Fig.



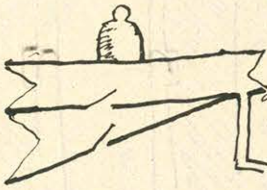
Ich will hier von Luftpumpen sprechen.
Es giebt zwei Arten derselben, Compressions
und Verdünnungspumpen. —
Compressionspumpe. Beschreibung, Vorzeigen
der Compressionspumpe zu den Natterer-schen
Flaschen. — Die eisernen Schienen, welche die Bewegung
der Kolbenstange ~~bewirken~~ reguliren, nennt man
Coulissen.
Natterer'sche Flasche. Ventil dabei.



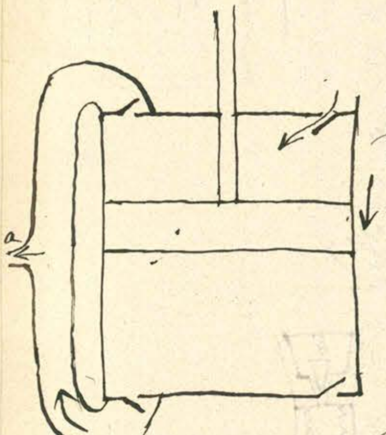
Mit Hülfe dieser Pumpe kann man auch andere
Gase als Luft comprimiren, nämlich
der Apparat zur Compression des Cl benützbar. —
Ähnlich ist die Pumpe construirt, welche man
zum Laden der Windbüchsen benützt. —
Diese Pumpe sehen sie hier. —
Experiment mit der Windbüchse. — Ein
Schuss verbraucht nur einen Theil der ganzen
comprimirten Luft. —



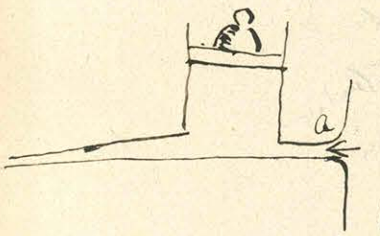
Zu den Compressionspumpen gehören auch die Gebläse. — Hier sehen sie die einfachste Gattung derselben. — vorgezeigt damit geprüft. — Erklärung. Dies ist ein einfacher Blasebalg, er liefert nur einen discontinuirlichen Strom.



Doppelte Blasebälge geben einen nicht ~~continuirlichen~~ versiegenden Strom, sie sind den Windkesseln zu vergleichen. — Vorzeigen eines Model's. — Feuer geraucht. — Das Model ist jenes, welches zu akustischen Versuchen benützt wird. —

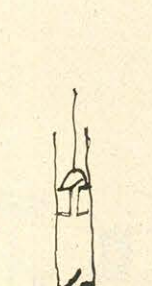


Cylindergebläse, diese sind auch ihrer Form nach den Compressionspumpen, wie wir sie oben beschrieben haben, ähnlicher. — Model ist nicht da; dagegen wurde es an einer Zeichnung erklärt. — Hierbei versiegt zwar der Luftstrom nicht es ist aber nicht gleichmäßig man kann ihn mit Hülfe folgender Vorrichtung gleichmäßig machen.



Trommelgebläse. Model vorgezeigt; dass da wirklich ein Luftstrom da ~~ist~~ wurde gezeigt indem eine Kerze gelöscht wurde. —

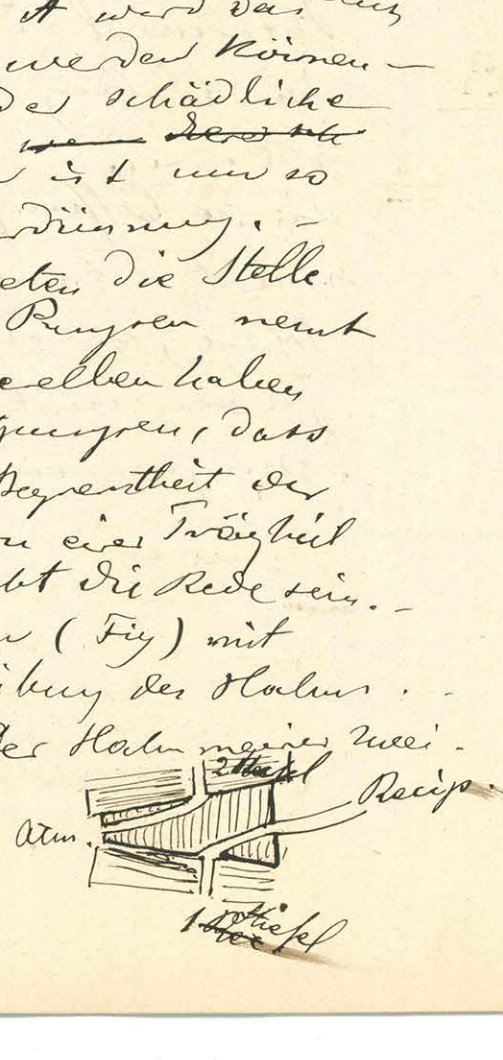
Nun sprechen wir von Verdünnungspumpen, welche ähnlich im Principe ~~sind~~ den Wassersaugpumpen sind. —



Denken wir uns eine Wassersaugpumpe nicht ~~in~~ Wasser sondern in ein mit Luft gefülltes Gefäß, den sogenannten Recipienten getaucht, dann haben sie eine Pumpe mit welcher die Luft verdünnt werden kann. — Ich will berechnen wie rasch die Dichtigkeit in A abnehmen wird. —

Es sei das Volum des Cylinders zwischen beiden
Ventilen ~~...~~ ~~wenn~~ in ihrer entferntesten
Lage gleich 1, das Volum des Recipienten A
dagegen gleich 3, – ich nehme noch an dass wenn
der Kolben seine tiefste Lage hat, dann zwischen
beiden kein Raum da ist. –
Unter diesen Umständen wird bei jedem Kol-
benzuge die Dichtigkeit im Verhältniss von 1 zu
$\frac{3}{4}$ verringert. –
Ist daher die Dichtigkeit beim Anfang = 1 wird
sie nach dem 1ten Zuge $= \frac{3}{4}$
„ „ 2ten Zuge $= \frac{9}{16}$
3ten „ $= \frac{27}{64}$ etc.

Man würde hieraus schliessen dass man jede
beliebige Verdünnung erzielen könnte.
Dies ist nicht ~~...~~ in der Wirklichkeit möglich. –
Und zwar nicht wegen der Trägheit der Ventile
Bei einer gewissen Verdünnung in A wird nämlich das
Saugventil nicht mehr gehoben werden können –
Ein anderer Übelstand ist auch der schädliche
Raum – Überlegung dessen, dass ~~...~~ ~~der sch~~
je grösser der schädliche Raum ist um so
geringer ist die Grenze der Verdünnung. –
Bei manchen Pumpen vertreten die Stelle
der Ventile die Hähne – solche Pumpen nennt
man Hahnluftpumpen. – Dieselben haben
den Vorzug über der Saugluftpumpen, dass
sie nur die zweite Ursache der Begrenztheit der
Verdünnung in sich führen, von einer Trägheit
der Ventile kann ja hier nicht die Rede sein. –
Einrichtung der Hahnluftpumpen (Fig) mit
doppelt durchbohrten Hahne Beschreibung des Hahns. –
Beschreibung der grossen Luftpumpe. Der Hahn meiner zwei-
stiefeligen grossen Pumpe ist folgender



Der grosse Vortheil einer 2stiefeligen Luftpumpe vor einer 1stiefeligen ist nicht allein, dass die Wirkung eine stärkere ist, auch der schädliche Raum ist dadurch wenn auch nicht vollkommen vermieden, jedoch sehr verringert. – Es ist dies durch die Grassmannsche Durchbohrung bewirkt. –
Diese Grassmansche Vorrichtung bewirkt nun eine Communication beider Pumpen.

1) Der 1^{te} Stiefel mit dem Recipienten, der 2^{te} mit der Luft verbunden.

1 2 3

2) Beide Stiefel verbunden

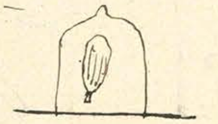
3) Der 2^{te} Stiefel mit dem Rec. der 1^{te} mit der Luft verbunden –

Hier will ich einen Versuch an, welcher die Wirkung dieses Apparates klar machen soll. –
An die Öffnung welche mit der Luft communicirt schraube ich eine zusammengesunkene Blase, an die Öffnung des Recipienten einen grossen mit Luft gefüllten Cylinder, und pumpe nun –

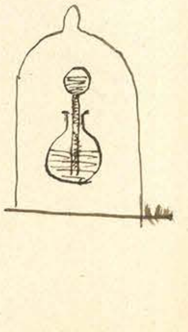
An der Tafel: Specifisches Gewicht.

Atmosph. Luft ...	1
Chlor ...	2,44
Kohlensäure ...	1,53
Sauerstoff ...	1,1056
Stickstoff ...	0,9713
Wasserstoff ...	0,0692

Weitere Beschreibung der Luftpumpe. —
Cylinderrohr recipient aufgeschraubt, die Luft darin ist verdünnt.
Das Cylinderrohr, oben und unten in Metall gefasst, 2 Fuss hoch 2 Zoll im Durchmesser. — Ich will jetzt zeigen dass im luftleeren Raum alle Gegenstände von beliebigem spez. Gew. gleich schnell fallen. — In diesem Cylinder ist eine Flaumfeder, ein Stück Papier, ein Stück Papier und ein Geldstück. — Ich schraube die Röhre ab, kehre sie um, sie sehen dass all diese Gegenstände gleich rasch fallen; jetzt lasse ich Luft hinein und sie sehen, wie verschieden die Fallgeschw. des Geldes und der Flaumfeder ist. —
Ich will jetzt einige Versuche mit der Luftpumpe anstellen, welche Ihnen einen Begriff davon geben sollen, wie sich die Luft auszudehnen strebt. —
1) Versuch mit einer zusammengeschrumpften zugebundenen Blase. —



2) Eine kleine Flasche darin schwarze Flüssigkeit hineingetaucht ein Rohr, oben mit Kugel, welche auch mit der Fl. gefüllt ist, nur eine kleine ihnen unsichtbare Luftblase ist drinnen. — Jetzt pumpe ich sie sehen dass der kleine Luftmenge sich sehr ausdehnt.



3) Hier ist ein Stückchen Eichenholz, welches auf dem HO schwimmt; dass es dies thut ist nur eine Folge dessen, dass in seinen Poren Luft enthalten ist, denn die Holzfasern selbst sind schwerer als HO. –

Ich mache den Versuch. In das Glas das Stück Eichenholz; überschwere es mit einem Draht, so dass es unter Wasser bleibt – so stelle ich es unter die Luftpumpenglocke u. Menge Luftblasen treten aus. – Ich lasse es jetzt in der ~~verdünnten Luft~~ Wasser stehen, sie werden morgen sehen, dass das Holzstück unten bleibt, bis morgen wird es sich mit HO füllen. –

~~Dies schließt~~ Etwas ähnliches macht man da wo man Holz u. ähnliches durch Tränken in Salzlösungen von HO befreit. –

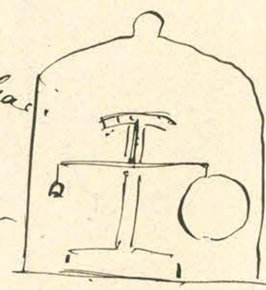
Holz ~~tränkt~~ saugt Flüssigkeiten nicht nur in sich ein, sondern auch durch sich hindurch. Davon überzeugte sich schon O. Guericke, da er versuchte ein Fass luftleer zu machen, dies ihm nicht gelang. O. G. versuchte dann das Fass in HO zu stellen und beobachtete das es hindurchdrang. –

Versuch Hg regen. – Ausführung des Versuches mit Beschreibung des Apparates. –

Versuch. Sprengen der Blase. Dabei das Recipienten Rohr durch einen Knopf geschützt. Die Barometerröhre verschlossen, da beim plötzlichen Eindringen der Luft ein starker für die Röhre gefährlicher Stoss hervorkommt.

Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln. –
Ein Gewicht von 25 Pfund wird getragen. –
Auf dem Reichstage von Regensburg stellte
O. Guericke Versuche mit Halbkugeln von 2'
Durchmesser an, – ~~man span~~ dem ent-
spricht ein Druck von 40 Zentner. – Man
spannte beider Seits 8 Pferde an. –
O. G. konnte durch Drehung eines Hahnes das
bewirken, was früher 16 Pferde nicht leisten
konnten. –

Die hat wir aus das archimedische Prinzip
ableiteten, ist auch auf gasförmige anwendbar.
Hier will ich durch einen Versuch zeigen, das
ein Körper im luftgefüllten Raume ein grösse-
res Gewicht hat, als in dem luftleeren
Raume. –



Hierauf beginnt Dote Methode der Bestimmung des
spez. Gewichtes. – Diese Methode ist aber
ungenau, denn 1) ist das Gewicht der Luftmasse
in der Glaskugel nur sehr klein, dann kann 2)
der Recipient nicht vollkommen luftleer gemacht
werden. –
Die genaue Kenntniss des spez. Gew. der Luft
ist für den Physiker sehr wichtig.
Haben wir ein Gefäss zuerst mit ~~der~~ Gase ~~dann~~ dann luftleer endlich
mit H_2O gefüllt gewogen, so ist hieraus das
spez. Gew. des Gases zu berechnen.
~~Bei~~ Wenn aber diese Methode ~~ziemlich~~ eine ge-

naue Angabe giebt, ist Druck u. Temperatur zu messen. Ferner ist wenn es sich um Luft handelt, auch ~~das~~ Wasserdampf zu vermeiden. – Man muss auch bei den angegebenen Wägungen die Gewichte so wählen dass sie gleiches Volum mit dem abzuwägenden Kolben haben; am besten wird man also thun, einen ähnlichen Kolben als Gegengewicht anzuwenden.
Regnault stellte Versuche an, und fand:
Das spec. Gew. der ~~trockenen~~ Atmosphärischen Luft bei 0° und 760 mm ist $= \frac{1}{773}$

+) Es ist ferner
1 □ meter Luft = 1293 Gramm.

Apparate: Luftpumpe von Oertling in Berlin samt Zubehör. – Nach Appel 163 Gulden kostend. –

Apparate: Am Fenster grosse ~~Bl~~ cylindrische Blechwanne 1 Meter hoch 4 Decimeter im Durchmesser. – Unten Vorrichtung die ~~Ges~~ Gesetze der Ausflussgeschwindigkeiten zu demonstriren, oben am H_2O Niveau ein gegen 2 Decimeter langes Glasfenster eingelegt, davor Scale mit Kreide. – Hiezu Zubehör verschieden grosse einschiebbare Öffnungen, konisch sich erweiternde Ausflussröhre, Metronom. –

Fernere Apparate siehe in dem Vortrag.
Auf der Tafel: spec. Gew. der Gase, so wie gestern.

Ist der Barometerstand nicht 760 sondern b, so ist das spec. Gew. bei 0 Grad und b Bar.

$$= \frac{b}{760^{mm}} \cdot \frac{1}{773}$$

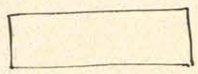
Wenn ferner die Temperatur nicht gleich Null sondern t ist so wird das spec. Gewicht:

$$s = \frac{1}{1+0,00366t} \cdot \frac{b}{760^{mm}} \cdot \frac{1}{773}$$

Da nun alle Gase dem Mariotte-schen Gesetze nahezu folgen, so dass ihr spec. Gew. mit dem Drucke proportional ist. Da nun das Volum, also auch der Druck mit der ~~nahezu~~ Temp. Erhöhung bei allen Gasen nahezu um gleichviel wächst, so wird das Verhältniss der spec. Gew. zweier verschiedener Gase ~~kein~~ als von der Temperatur unabhängig betrachtet werden können.
Daher ist es zweckmässiger das spec. Gew. der Gase nicht auf das einer Flüssigkeit, sondern das eines Gases als Einheit zu beziehen. Als solche Einheit wählt man das spec. Gew. der Luft. Siehe Tabelle. –
Manche Gase haben sehr klein spec. Gew. so namentlich der Wasserstoff. – Archimedisches Princip – Ballons – Steigkraft derselben, Geschichtliches. –

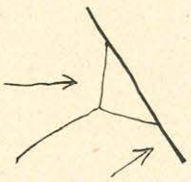
Beschreibung von Montgolfiers Ballon. –
Charles, seine Schwierigkeit war eine passende Substanz zu finden, da H durch alle Zeuge hindurchgieng. – Er nahm Seidenzeug mit Firniss überzogen. – Montgolfier konnte die Steigkraft durch Hitzen vergrössern oder verringern, Charles that dies mit der oberen Klappe, und durch das Mitnehmen von Ballast. –
Ähnlich sind die Luftballons heut zu Tage – nur werden dieselben mit Leuchtgas gefüllt. –
In horizontaler Richtung ist nichts. –
Es ist eine oft besprochene Frage ob horizontale Steuerung möglich ist oder nicht?
Die Möglichkeit ist da, siehe man die Vögel; aber dass das gelingen wird ist höchst unwahrscheinlich, denn es müssten ja Flügel da sein, es müsste eine schwere Maschine da sein, so dass der Ballon sich nicht erheben könnte. –
Bis jetzt sprach ich von der Hydrostatik. – Jetzt übergehen wir auf <u>Hydrodynamik</u>. In der Hydrostatik war mein Hauptbemühen einen richtigen Begriff des Druckes zu geben, – Stellen wir uns jetzt eine bewegte Flss vor, da wird auch ein jeder Theil der Schiffswand einen Druck nach aussen erleiden. – Es wäre möglich diesen Druck zu messen, wenn eine Art Ventil angebracht wäre und dasselbe mit Gewichten belastet wäre. –
Ich will aber auch von dem Drucke innerhalb der Flss sprechen, und denke mir deshalb

innerhalb eine kleine feste Fläche, welche mitbewegt wird, — Auch diese Fläche wird vertical Drucke erleiden. —
Das Princip der Gleichheit des Druckes in verschiedenen Richtung gilt ebensowohl in der Hydrodynamik, wie in der Hydrostatik. —
Die Giltigkeit dieses Princips für die Hydrodynamik könnte durch folgendes Experiment nachgewiesen werden. —
Denken sie sich eine Büchse, ähnlich die eines Aneroidbarometers, in sehr kleinen Dimensionen angefertigt, innerhalb eines bewegten Fluss gelegt, und zwar so dass es sich mitbewegt. — Der Stand des Zeigers, würde dann stets den Druck im Inneren der bewegten Fluss angeben. — Es würde sich so angeben, dass die Angabe des Apparates unabhängig ist von der Lage derselben, so dass es nachgewiesen wäre dass der Druck auch hier nach allen Richtungen gleich gross ist. — Die Richtung dieses Druckes ist immer senkrecht auf die Fläche. —



Auf diese einfache Betrachtung beruhen schon manche Erscheinungen des täglichen Lebens. Fliegende Brücke, wie bei Ladenburg und bei Neckargemünd. —
Wirksamkeit des Steuers.
Dasselbe Princip ist auch für die Luft anwendbar,

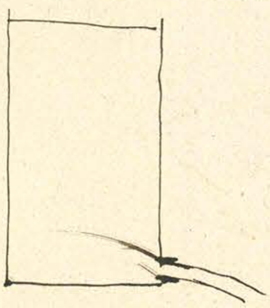
Neckargem



Dies erklärt den Gebrauch der Segel — ferner die Drachen. —

Fassen wir nun ein Flüssigkeitstheil ins Auge, etwa ein rechtwinkeliges Parallelepipedon. — Würde das Theilchen allein da sein, so könnte sich dasselbe ähnlich einem festen Körper bewegen. — Das Theilchen ist aber von anderen umgeben. Die Wirkung dieser Umgebung besteht in Drucken, die senkrecht auf die Fläche wirken. — Es werden drei solche auf einander senkrechte Drucke da sein. — Ein Theilchen wenn noch diese drei Druckkräfte davon gedacht werden, wird sich also ganz wie ein fester Körper bewegen, und von der Bewegung seiner Umgebung im übrigen unabhängig sein. —

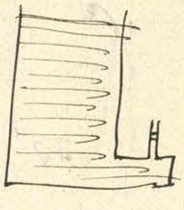
Ich will jetzt einige spezielle Fälle der Beweg. von Flüssigkeiten in's Auge fassen. —



Ich nahm letzthin an dass die Öffnung vertical sei. Dies ist nicht nothwendig, die Bahn ist immer allein von der Ausflussgeschwindigkeit abhängig. Jedes Theilchen wird derartig an der Öffnung ausgeschleudert, als ob wenn es ein fester Körper wäre dem die Ausflussgeschwindigkeit ~~vertical~~ vertical auf die Ebene der Öffnung mitgetheilt worden wäre. –

Toricelli–s Theorem. – Nach ihm die Ausflussgeschwindigkeit unabhängig von der Richtung, von dem Querschnitt der Öffnung, ja unabhängig von der Natur der Flüssigkeit, allein von der Druckhöhe abhängig. – Und zwar =

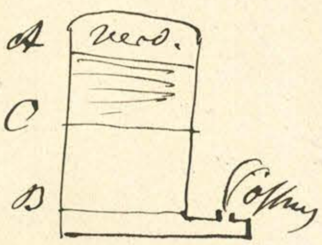
$$v = \sqrt{2gh}$$



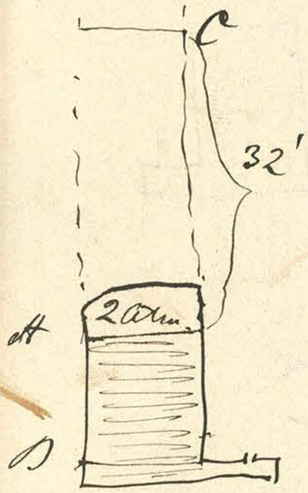
Anwendung auf den Fall der Springbrunnen. Ein Theilchen welches heraustritt bewegt sich ganz wie ein Körper mit der bestimmten Ausflussgeschwindigkeit. –

Von der Reibung bei dem Ausfluss der Flüssigkeiten. Die Erscheinungen der Reibung können wir auf folgendem Apparate studiren. – Apparat beschrieben am Anfang der letzten Vorlesung – Damit einen Springbrunnen gemacht. –

Bisher machte ich die Voraussetzung dass ~~die~~ auf die obere offene Flüssigkeitsfläche ein Atm. Druck wirkt. – Wäre dies nicht der Fall – so könnte das Toricelli-sche Princip nicht so ohne weiteres angewendet werden. –

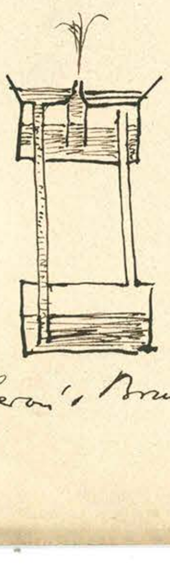


Die Druckhöhe in diesem Falle ist nämlich nicht die Höhe des Flüssigkeitsniveaus über der Ausflussöffnung. — Sei z. B. der Raum oberhalb des Flüssigk.-niveaus A mit verdünnter Luft gefüllt; dann ist der Druck in der Ebene B grösser als ein Atmosphär. sonst würde ja durch die Öffnung Luft eintreten. — Der Druck nimmt von A bis B zu, und es wird gewiss eine Ebene C geben in der der Druck gleich 1 Atm. ist. Von dieser Ebene bis zur Öffnung ist die Druckhöhe. Eine Constante von dem Niveau der Flüssigkeit unabhängige Ausflussgeschwindigkeit erreicht mit Hilfe der Mariotte-schen Flasche. — Beschreibung, Experimentieren mit der Mariotte-schen Flasche.



Wenn oberhalb des Niveau's A der Druck grösser als 1 Atm. etwa 2 Atm. ist, so muss man sich das Gefäss in die Höhe vergrössert denken so dass es die Flüssigkeit bis C 32' Flüssigkeitsreihe. dann lässt sich Torricelli-'s Theorem direct anwenden.

Heron's Brunnen. — Beschreibung, Vorzeigen.


Heron's Brunnen

Sprechen wir jetzt von der Ausflussmenge. — Man könnte ~~[illegible]~~ dieselbe einfach ableiten; sie ist nämlich gleich dem ~~Basis~~ Volum eines Cylinders, dessen Basis die Ausflussöffnung ist und dessen Höhe die Ausflussgeschwindigkeit ist. Also wäre die Ausflussmenge = f.v

Diese Ausflussmenge nennt man auch schlechtweg